

**УНИВЕРЗИТЕТ „ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ“ – ШТИП**  
**ФАКУЛТЕТ ЗА ПРИРОДНИ И ТЕХНИЧКИ НАУКИ**

**Градежно инженерство – Геомеханика**

**Штип**



**Роберто Тошевски**

**Инженерско – геолошка класификација на  
карпестите комплекси на Скопската Котлина со  
околината**

**Магистерски труд**

**Штип, Ноември 2015**

Роберто Тошевски

**Инженерско – геолошка класификација на карпестите комплекси на  
Скопската Котлина со околината**

Универзитет “Гоце Делчев” – Штип

Членови на комисија за оценка и одбрана

**Ментор: Проф. Д-р. Тодор Делипетров**

Редовен професор на факултетот за природни и технички науки при  
Универзитетот “Гоце Делчев” – Штип

**Член: Проф. Д-р. Крсто Блажев**

Редовен професор на технолошко – технички факултет при  
Универзитетот “Гоце Делчев” – Штип

**Член: Проф. Д-р. Зоран Панов**

Редовен професор на факултетот за природни и технички науки при  
Универзитетот “Гоце Делчев” – Штип

Датум на одбрана \_\_\_\_\_

## **Трудови и рецензии**

- RELATION BETWEEN SEISMIC AND GEOMECHANICAL PARAMETERS OF THE MEDIUM – Roberto Tosevski, Goran Angelov, Todor Delipetrov, Gorgi Dimov, Blagica Doneva (SGEM)
- METHODS OF ENGINEERING GEOLOGICAL MODELS OF ROCK – Gorgi Dimov, Krsto Blazeв, Roberto Tosevski, Todor Delipetrov, Blagica Doneva (SGEM)

## **Инженерско – геолошка класификација на карпестите комплекси на Скопската Котлина со околината**

### **Краток извадок**

Моделите на природните геолошки средини ги рефлектираат најважните карактеристики кои се релевантни за специфични аспекти на обработената проблематика. Во магистерскиот труд е претставена синтеза на резултатите од деталните теренски геолошки истражувања, лабораториски анализи како и комплексни геофизички испитувањата како и апликација на математичко статичките методи.

За да се стигне до фазата на моделирање на природната геолошка средина т.е. пред да се продуцираат инженерско – геолошките процеси и модели, неопходни се да се определат геолошките и инженерско – геолошките карактеристики на истражниот простор.

Моделите на природната геолошка средина се претставени во вид на инженерско – геолошки пресеци (ИГП) и инженерско – геолошки модели (ИГМ). Инженерско – геолошките пресеци на карпестите маси се изработени според различни истражни параметри.

Изработените инженерско – геолошки модели во суштина претставуваат повеќе параметарска презентација на состојбата на карпестиот масив. Инженерско – геолошките модели јасно ги претставуваат најбитните карактеристики на природната геолошка средина кои се релевантни за специфични аспекти на истражуваната проблематика.

Додатен аспект на истражувањата обработени во магистерскиот труд претставува корелацијата помеѓу сеизмичките и геомеханичките карактеристики на медиумот. Посебно внимание е посветено на анализата на карбонатните карпести комплекси. Сеизмичките истражувања се изработени на специфични локации кои ги определуваат брзините на простирање на  $V_p$  и  $V_s$  еластичните бранови. На истите локации се изработени геомеханички и инженерско – геолошки истражувања. Во магистерскиот труд е претставена зависноста помеѓу брзините на

простирање на  $V_p$  и  $V_s$  брановите и геомеханичките параметри на медиумот:  $E$  - Јунгов модул на еластичност,  $G$  – модул на смолкнување и  $\nu$  – поасоновиот коефициент.

Изработена е квалитативна проценка на степенот на зависност помеѓу брзините на простирање  $V_p$  и  $V_s$ , како и RQD, RMR и Q параметрите на карбонатните масиви, како и  $\phi$  – аголот на внатрешно триење и кохезијата на материјалот –  $c$ .

**Клучни зборови:** инженерско геолошки пресеци (ИГП), инженерско геолошки модели (ИГМ), литологија, физичко – механички параметри, распуканост, сеизмички брзини, геомеханички параметри

## **Engineering – geological classification of rock complexes of Skopje valley with its surroundings**

### **Abstract**

Model of the natural geological environment reflects all the important characteristics of the natural geological environment that are relevant to specific aspects of the problem that is studied or addressed. It represents a synthesis of the results of detailed field measurements and surveys, laboratory analysis, complex geophysical research and application of methods of mathematical statistics and probability theory.

To get to the stage on modeling on natural geological environment i.e. before we can produce engineering-geological sections and models, we must be well acquainted with the geological and engineering-geological characteristics of the area investigating.

Model of the natural geological environment are made in the form of engineering geological sections (EGC) and engineering geological models (EGM).

Engineering geological cross sections are made by different investigated parameters of the rock mass during the survey received a greater number of data (numeric or descriptive).

Obtained engineering-geological models actually represent more parametric representation of condition of rocky massif, i.e. not made separate models for each parameter but on one common model are presented all tested parameters. The engineering-geological model clearly reflects all the important properties of the natural geological environment that are relevant to specific aspects of the problem being addressed.

Another subject of research in this paper are correlated relations between seismic and geomechanical features of the medium. Special interest for analysis is made on carbonate rock complexes. Terrain seismic investigations are made on specific locations defining  $V_p$  and  $V_s$  velocities. On the same locations are made geomechanical and engineering - geological explorations. In the paper is presented dependence between  $V_p$  and  $V_s$  velocities and geomechanical parameters of the medium:  $E$  - Young's modulus of elasticity,  $G$  - shearing modulus and  $\nu$  - Poisson coefficient. Calculated are dependence

of these parameters  $V_p$  and  $V_s$  velocities, or an attempt is made to assess the geomechanical parameters through analysis of seismic speeds.

Qualitative assessment is made on the degree of dependence of seismic velocities  $V_p$  and  $V_s$  with RQD, RMR and Q parameters of carbonate massifs, as well as with  $\varphi$  - angle of internal friction and  $c$  - cohesion of material.

**Keywords:** engineering geological cross sections (EGC), engineering geological models (EGM), lithology, physical – mechanic parameters, cracking, seismic velocities, geomechanical parameters

Содержина:

**Вовед** ..... 9



<b>1. Физичко – механички параметри на карпестите маси</b> .....	12
1.1 Физичко – механички параметри на карпите.....	13
1.2 Почви.....	16
<b>2. Геолошка класификација на карпите</b> .....	18
2.1 Инженерско – геолошки типови на карпи.....	21
2.2 Механички својства на карпите.....	27
<b>3. Карпести маси на територијата на Република Македонија</b> .....	32
<b>4. Геолошка градба на Скопска Котлина</b> .....	40
<b>5. Повеќе параметарска класификација на теренот</b> .....	50
<b>6. Инженерско-геолошки модели на карпести маси на истражниот простор</b> .....	60
6.1 Инженерско-геолошки пресеци (ИГП) и инженерско геолошки модел (ИГМ).....	61
6.1.1 <i>Инженерско-геолошки пресеци користејќи ја литологијата како параметар</i> .....	63
6.1.2 <i>Инженерско-геолошки пресек преку параметар на распукување</i> .....	64
6.1.3 <i>Инженерско-геолошки пресек изработен според физичко-хемиската декомпозиција</i> .....	66
6.2 Инженерско геолошки модели (ИГМ).....	66
<b>7. Корелација помеѓу сеизмичките и геомеханичките параметри на медиумот</b> .....	70
7.2 Геомеханички параметри.....	75
7.3 Релација помеѓу сеизмичките брзини и геомеханичките параметри.....	77
<b>Заклучок</b> .....	80
<b>Користена литература (References)</b> .....	81

## Вовед

Истражниот простор е дел од вардарската зона и се карактеризира со многу сложена градба каде се издвоени различни типови на карпи, кои се карактеризираат со различни геолошки карактеристики, со различен релјеф и различна дебелина во длабочината на земјината кора. Најновата геолошка историја, неотектонска етапа, многу од овие елементи се одразиле во неа со тоа што голем дел на структури се реактивирани, а се настанати и неоформи, со чија активност е поврзана и сеизмичноста.

При решавањето на поставената задача беа користени геолошки прилози, добиени во последните триесет години, како и податоците од геофизичките и сеизмолошките проучувања од тој период.

За инженерско – геолошка класификација на застапените карпести маси на истражниот простор применета е современа методологија, најмногу применувана во светски рамки. Презентирани се физичко – механичките параметри на карпестите маси од познати автори од поедините области. Овие податоци даваат добра основа за сеопфатна анализа на карпестите маси од широк спектар на инженерски интерес, како на пример решавањето на стабилноста на теренот или отворање на рудници за искористување на карпестите маси.

Посебен осврт е даден на дел од геофизичките методи кои даваат можност за прозрачување на просторот во длабочина. Геофизичките методи во процесот на мерење обработката и интерпретација на мерните резултати се темелат на даден физички параметар на карпестите маси. Гравиметриските методи се темелат на густината на карпите и служат за дефинирање на просечната густина на карпестите маси. Тие даваат можност за селектирање на карпите според својата густина, пропустливост на вода флуиди и гас. Издвоените бугеови аномалии ако се позитивни укажуваат на карпести маси со поголема густина од  $\rho_0 = 2,67 \text{ g/cm}^3$  (средна густина на земјината кора), а ако се негативни на карпи со помала густина од  $\rho_0$ .

Магнетната метода се темели на присуството на магнетни минерали во карпите, иако таа не е директно поврзана со физичко – механичките

карактеристики, сепак може да биде добар индикатор за какви карпи се работи во длабочините на истражниот простор.

Геоелектричните истражувања даваат можност на дефинирање на отпорот на средината на база на што се врши геолошка интерпретација на геоелектричниот модел. Овие истражувања имаат посебна важност во дефинирањето на нивото на подземна вода, што е од голем интерес во инженерството.

Во трудот посебно е посветено најголемо внимание на сеизмичките методи кои директно ги дефинираат основните геомеханички параметри на истражуваната средина, како што е Јунговиот модул на еластичност, модулот на смолкнување, густината на карпите и поасоновитиот коефициент. Сеизмичката метода денес има широка примена во истражувањето на даден простор за широк спектар на инженерски активности.

Магистерскиот труд е изработен низ вкупно седум глави и започнува со генерална класификација на карпестите маси според нивните физичко – механички параметри.

Во втората глава е опфатена геолошката класификација на карпите, според начинот на настанување, староста, инженерско – геолошките типови, механичките карактеристики итн.

Третата глава ја обработува тектонската поделба на Република Македонија како и застапеноста на карпестите маси во опфатените тектонски реони.

Во четвртата глава е обработена геолошката класификација на поширокиот истражен простор, заедно со деталните геолошките истражувања на Скопската Котлина (конкретниот истражен простор).

Глава пет ја обработува повеќе праматарската класификација на теренот заедно со одредени геофизички параметри (густина, магнетичност, специфичен електричен отпор) на различните геолошки формации.

Шестата глава опфаќа изработка на инженерско – геолошки прецеси според различни параметри (литологија, распуканост, физичко – хемиска декомпозиција), како и инженерско геолошки модели за истиот истражен простор.

Во последната глава е изработена корелација помеѓу сеизмичките и гео – механичките параметри на медиумот. Од сите презентирани геофизички методи сеизмичките истражувања се опфатени подетално од проста причина што резултатите од самите истражуваат се директно поврзани со физичко – механичките карактеристики на карпестите комплекси застапени во истражниот простор.

## **1. Физичко – механички параметри на карпестите маси**

Во инженерството, пред сè во градежништвото и рударството, вообичаено и усвоено под поимот карпа се подразбираат само цврсти сврзаните карпи, додека слабо сврзаните (глини, лапори и сл.) и несврзаните (песоци, чакали, дробини и сл.) материјали се вбројуваат под поимот почва.

Во механиката на карпи се прави јасна разлика помеѓу карпата – примерок и пробно тело на монолитно изолирано парче на карпа често пати наречено камен или карпеста маса или пошироко карпест масив – како синоним, со сите останати елементи и одлики што ги содржи во склопот на теренот (историјата на постанокот, градбата, состојбата, својствата и др.)

### 1.1 Физичко – механички параметри на карпите

Карпата – примерок најчесто е хомогена (составена од иста група на минерали, без некои видни дефекти во својата маса) и кај неа во најголем број на случаи важат законите на механиката на континуумот. За разлика од карпата – примерок карпестата маса може да се состои од повеќе петролошки видови на карпи со различно потекло и залегнување, историски развиток, со различни инженерско – геолошки својства во различни делови на карпестата маса.

Табела 1.1 Карактеристични особини на некои карпи (според Hoek и Bray)  
Table 1.1 Characteristic Features of rock masses (according to Hoek and Bray)

КАРПЕСТА МАСА	$\gamma$ (kN / m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	$c$ (kN / m <sup>3</sup> )
Гранит	26.14	30 – 50	980 до 3000
Кварцит	26.14	30 – 45	-
Песочник	19.50	30 – 45	490 до 1460
Варовник	21.69	30 – 50	490 до 1460
Порфирит	25.80	27 – 54	980 до 300
Шкрилец	24.00	27 – 45	240 до 980
Креда	17.60	30 – 40	240 до 980

Карпестата маса по правило е хетерогена, анизотропна, со блоковита градба како резултат на испуканоста и за неа не можат да важат законите на механиката на континуумот, туку важат законите за дисконтинуумот.

Резултатите и законитостите кои важат во карпите – примероци не можат директно да се претставуваат на карпестите маси во теренски услови.

Табела 1.2 Вредности на аголот на внатрешно триење на заполнетиот материјал по контактите (според Hoek)

Table 1.2 Values for angel of internal friction of the material near the contacts (according to Hoek)

ОПИС	вредност $\phi$ (°)
Андезитски задробен материјал	31 – 35
Креда	35 – 41
Порфирски здробен материјал	40
Песочен здробен материјал	27 – 38
Здробени шкрилци	37
Здробено нарушени глини	10 – 20
Ситно здробени зони на смолкнување	14 – 22
Здробен катаклизиран материјал на повлечените материјали	14 – 22

Во Табелата 1.3 е даден преглед на коефициентот на пропустливост во цврсти и меки карпи.

Табела 1.3 Коефициенти на пропустливост

Table 1.3 Coefficient of permeability

Вид на материјалот			Вредност	КОМЕНТАР
Непореметени карпи	Здробени карпи	Земјиште	$k$ [m/s]	
Шкрилец	-	-	$10^{-12}$	Практично непропустливо
Доломит	-	-	$10^{-11}$	Практично непропустливо
Гранит	-	-	$10^{-10}$	Практично непропустливо

Карбонатен песочник	-	-	$10^{-9}$	Практично непропустливо
Карбонатен песочник	-	Многу ситни песоци	$10^{-8}$	Малку пропустливи, слаба дренажа
Карбонатен песочник	Раздробен материјал заполенет со глина	Органска и неорганска прашина, мешавина од песок и глина,	$10^{-7}$ $10^{-6}$	Малку пропустливи, слаба дренажа
Карбонатен песочник	Испукани карпи	глацијална црница , слоевити лежишта од глина	$10^{-5}$ $10^{-4}$	Малку пропустливи, слаба дренажа
Испукан песочник	Карпи со отворени пукнатини	Чист песок, песок и чакал, чист чакал	$10^{-3}$ $10^{-1}$ $10^0$	Големо истекување, слободна дренажа

Карпите во поголема или помала мерка се променуваат поради распаѓањето од литификацијата и други егзогени геолошки процеси. Со распаѓањето се менува хомогеноста на карпестата маса и нејзините составни делови и се зголемува општата порозност.

Зголемувањето на пукнатините на единица волумен на карпестата маса влијае на смалување на нејзината цврстина. Освен ова, испитувањата од Р.А. Rebindera и други автори укажуваат на дејството на водата која се јавува во пукнатините и која дејствува како надворешна сила на смалување на цврстината на карпестата маса.

Може да се каже дека се создава верижна реакција на напрегањето на минералниот скелет, која е основна причина карпестите маси да започнат со дезинтегрирање и при најслабите напрегања.

Постоењето на карпестите пукнатини условува од карпестиот масив да се одвојуваат блокови и парчиња, коишто во механичка смисла претставуваат делови од хомогена карпеста маса, но при деформација се однесува како единствена

целина. Во секој случај, формата, големината, распоред и типот на компоненти помеѓу раздвоените призми влијаат на физичко – механичките карактеристики на карпестите маси во целина.

Со зголемувањето на длабочината се зголемува притисокот од горните лежечки слоеви, се зголемува температурата, како и дејството од подземните водени раствори. Се смета дека само во поголемите длабочини притисоците се еднакви од сите страни,  $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z$ , додека во горните делови постојат зони со намалени или зголемени притисоци, зони на компресија и затегнување.

Покрај наведеното, доаѓа и до значајни промени на физичко – механичките особини на карпестите маси. Утврдено е дека аголот на внатрешно триење се смалува со зголемувањето на длабочината, додека кохезијата се зголемува.

Притоа не може да се запостави влијанието што околните карпи го вршат на промените на првобитната состојба. Јаглените кои се пластично деформирани се однесуваат како крти тела. Во одредени услови може да настане продор на гас во слоеви на јаглен затворени во цврсти карпи, додека истиот слој опкружен со пластични карпи не е воопшто опасен (не може да дојде до продирање на гас).

Одредувањето на физичко – механичките и техничките особини на примероците издвоени од одделни места во карпестата маса бара познавање на други параметри кои влијаат на неговото формирање, па според тоа и на интерпретацијата на добиените физички големини кои ќе се применат за конкретните пресметки. Затоа, покрај вообичаените испитувања на примероците, потребно е да се дадат квантитативни оценки на влијанието на однапред наведените геолошки фактори на карпестиот масив.

## **1.2 Почви**

Механичките особини на почвата се поврзани со меѓусебното влијание помеѓу цврстата, течната и гасовитата состојба. Доброто познавање на почвата бара квалитетно одредување на минералошко – петролошкиот состав и нејзина потполна детерминација. Некохерентниот материјал (чакал, песоци и прашина) е составен од неглиновити материјали: кварц, фелспат и ликсун. Кварцот се одликува



со постојана кристална структура. Фелспатите се малку стабилни и не се јавуваат во такви количини во како што се наоѓаат во вулканските карпи. Ликсуните се наоѓаат во слоевите како меѓусебно слабо врзани и со нивното присуство се зголемува стисливоста под оптоварување, како и бубрењето под растоварување. Поголем број на ситни честички во почвата се составени од глиновит материјал, при што почвата ја прават пластична кога доаѓа во контакт со одредена количина на вода. Глиновитите материјали се силикат на луминиумот. Најчесто се појавуваат минерали на глина, како што се каолин, или и монтморионит. Минералошкиот состав на почвата има многу големо влијание врз големината на атерберговата граница на конзистенција која се одредува за идентификација и класификација на почвата.

Во Табелата 1.4 е даден преглед на основните карактеристики на природната почва: коефициентот на порозност ( $e$ ), влажност ( $w$ ), сува волуменска тежина ( $\gamma_d$ ) и заситена волуменска тежина ( $\gamma_z$ ). Овде влажноста се однесува на заситена почва (сите пори се наполнети со вода).

Табела 1.4 Коефициент на порозност, влажност и волуменска тежина (според Terzaghi и Peck)

Table 1.4 Coefficient of permeability, moisture and bulk density (according to Terzaghi and Peck)

ОПИС	$e$	$w$ [%]	$\gamma_d$	$\gamma_z$
			$(kN/m^3)$	
Рамномерен растресен песок	0.85	32	14.30	18.90
Рамномерен збиен песок	0.51	19	17.50	20.90
Песок растресит, мешавина со зрна	0.67	25	15.90	19.90
Песок збиен – мешовити зрна	0.43	16	18.60	21.60
Глацијална ораница со мешани зрна	0.25	9	21.20	23.30
Меки глацијални глини	1.2	45	-	17.70
Тврди глацијални глини	0.6	22	-	20.70
Мека малку органска глина	1.9	70	-	15.80
Мека многу органска глина	3.0	110	-	14.30
Мек бентонит	5.0	194	-	12.70

## 2. Геолошка класификација на карпите

Карпите претставуваат природни минерални агрегати со определен состав и градба, кои се настанати како резултат на геолошките процеси и кои во земјината кора формираат определени самостојни тела.

Седиментните карпи се карпи кои се настанати со таложење (седиментација) на различен материјал, пред сè во водена средина. Тоа се карпи кои се настанати од механички здробени карпи (постари од нив), или се продукт на хемиски, односно органогени процеси.

Групата на магматски карпи е настаната како резултат на кристализацијата на магмата во внатрешноста на земјината кора или на нејзината површина. Во зависност од начинот на појавување и местото на настанување, магматските карпи се делат на:

- Длабински – интрузивни или плутонски карпи;
- Изливни – вулкански или ефузивни карпи;
- Жилни карпи кои се настанати со втиснување на магмата во пукнатини на земјината кора.

Според минералошкиот и хемискиот состав (претежно според содржината на  $\text{SiO}_2$ ), магматските карпи се поделени во 4 групи:

- Кисели карпи кои содржат над 65%  $\text{SiO}_2$ . Главни претставници се гранит (длабински) и кварц – профир (изливни);
- Интермедијарни карпи, содржат од 45 – 54 %  $\text{SiO}_2$ . Главни претставници се гарбо (длабински) и дијабаз, мелафир и базалт (изливни);
- Ултрабазични карпи, со содржина на  $\text{SiO}_2$  помала од 45%. Главни претставници се перидотит (длабински) и пикрит – порфирит (изливни).

Метаморфните карпи настануваат во подлабоките делови на литосферата под влијание на зголемени притисоци и температури. Во дадените услови се одвиваат посебни физичко – хемиски процеси, кои условуваат нови социјации. Целиот овај процес е познат како метаморфизам. Основната класификација на

метаморфните карпи се базира на квантитативниот минералошки состав и текстурните карактеристики на самите карпи. Според овие критериуми, метаморфните карпи се поделени на: филити, шкрилци (микашисти, хлоритски шкрилци и др.), гнајсеви (ортогнајсеви, настанати од гранити и парагнајсеви, настанати од песочници), амфиболити и амфиболитиски карпи, мермери, кварцити и др.

Во Табелата 2.1 се претставени типовите на карпи според нивната старост односно според геохронолошката поделба.

Табела 2.1 Геохронолошка поделба  
Table 2.1 Geochronological division

Еон	Старост млн. год.	Ера Група	Период Систем	Епоха Оддел
Фанерозоик	65 ± 3	Кенозојска (Кенозоик) Kz	Квартер – Q Квартерни	Современ – Q <sub>4</sub> Горен квартален – Q <sub>3</sub> Среден квартален – Q <sub>2</sub> Долен квартален – Q <sub>2</sub>
			Неогенски Неоген – N	Плиоценски (горен) N <sub>2</sub> Миоцен (долен) N <sub>1</sub>
			Палеогенски Палеоген - Pg	Олигоцен (горен) Pg <sub>3</sub> Еоцен (среден) Pg <sub>2</sub> Палеоцен (долен) Pg <sub>1</sub>
	230 ± 10	Мезозојска (Мезозоик) Mz	Креден – K	Горна – K <sub>2</sub> Долна – K <sub>2</sub>
			Јурски, Јура – J	Горна јура – J <sub>3</sub> Средна јура – J <sub>2</sub> Долна јура – J <sub>1</sub>
			Тијаски, Тријас – T	Горен тријас – T <sub>3</sub> Среден тријас – T <sub>3</sub> Долен тријас – T <sub>3</sub>
	570 ± 30	Палеозојска (Палеозоик) Pz	Пермски, Перм – P	Горен перм – P <sub>2</sub> Долен перм – P <sub>2</sub>
			Карбонски, Карбон - C	Горен карбон – C <sub>3</sub> Среден карбон – C <sub>2</sub> Долен карбон – C <sub>1</sub>
			Девонски, Девон - D	Горен девон – D <sub>3</sub> Среден девон – D <sub>2</sub> Долен девон – D <sub>1</sub>
			Силурски, Силур - S	Горен силур – S <sub>2</sub> Долен силур – S <sub>1</sub>

			Ордовициум - O	Горен ордовник – O <sub>3</sub> Среден ордовник – O <sub>2</sub> Долен ордовник – O <sub>1</sub>
			Камбриум - Cm	Горен камб. – Cm <sub>3</sub> Среден камб. – Cm <sub>2</sub> Долен камб. – Cm <sub>1</sub>
Протерозоик	2700 ± 100	Протерозојска, Протерозоик - Pr	Рифеј	Горен Рифеј – Pr <sub>3</sub> Среден Рифеј – Pr <sub>2</sub> Долен Рифеј – Pr <sub>1</sub>
Криптозоик Археозоик	4700 ± 200	Архајска, Архаик - A	Архајската група нема заедничка меѓународна поделба	

Постојат многу поделби на карпите кои во основа се засноваат на различни критериуми и тоа:

- постанок на карпите,
- минералниот состав на карпите,
- хемискиот состав на карпите.

Според начинот на формирање се делат на:

- магматски карпи,
  - седиментни карпи,
  - метаморфни карпи.
- Магматски карпи

Магматските карпи настануваат со консолидација на вжештениот силикатен течен растоп кој се нарекува магма или лава. Магматските карпи според процесот на ладење се карактеризираат како интрузивни и експрузивни.

Магматските карпи се поделени на три групи и тоа:

- Длабински,
- Жилни,
- Изливни

### ➤ Седиментни карпи

Седиментните карпи настануваат со таложење или седиментација на иситнетиот или растворениот материјал кој потекнува од распаѓањето на порано настанатите карпи. Седиментните карпи се консолидираат преку процес кој се нарекува литификација на карпите.

### ➤ Метаморфни карпи

Метаморфните карпи настануваат со преобразба на магматските или седиментните карпи под физичко-хемиски услови кои се поинакви од оние во кои тие карпи настанаа (карпите кои се преобразуваат). Метаморфозата на карпите е процес кој дејствува при услови на високи температури и голем притисок.

## **2.1 Инженерско – геолошки типови на карпи**

За разлика од природните геолошки науки, каде што под поим на карпа се подразбираат сите природни минерални агрегати кои учествуваат во градба на Земјината кора, во инженерската геологија сите карпи се поделени во три основни групи и тоа:

- цврстосврзани карпи;
- слабосврзани;
- несврзани карпи.

Ваквата поделба е извршена врз основа на цврстина на врските кои постојат помеѓу зрната на карпите.

Кај наведените три групи на карпи постојат разлики помеѓу нивните физичко-механички својства, како и нивното механичко однесување при работење во нив и со нив. Од практична гледна точка за инженерството, скоро да не постојат значајни физичко-механички разлики во рамките на една група.

Кај цврстоврзаните карпи, помеѓу нивните зрна постојат претежно цврсти кристализациони врски. Нивните основни својства, пред сè, зависат од следните карактеристики:

- видот на минералните состојки, минералниот вид на врзивото и негово количество;
- склопот на карпите (големина, форма и распоредот на зрната во масата на карпата, како и начинот на нивната врска);
- разни дефекти во градбата на карпата (пори, пукнатини и други разни шуплини).

Цврстосврзаните карпи се и најчести карпи во Земјината кора. По своите физичко-механички својства можат да се издвојат во две подгрупи и тоа каменити и полукаменити цврстосврзани карпи.

Во слабосврзани карпи се вброени оние претставници кои се изградени од честички поситни од 0,002 мм. Најтипични претставници се глини и лапори.

Во групата на неврзани карписе класифицираат седименти изградени од минерални зрна или парчиња на карпи кои меѓусебно само контактираат, т.е. кои се целосно одвоени. Сите позначајни својства зависат од видот, големината и формата

Според големината на зрната (гранулометрискиот состав) разликуваме чакалести, пескливи и прашинести несврзани карпи. Генерално гледано, кај некои од карпите од оваа инженерско-геолошка група се можни појави на суфозија, ликвефакција, проламање, течишта и друго. Главно имаат висока водопропустност.

Квалитетот (рејтингот) и категоријата на карпестите маси се дефинира како продукт од повеќе класификациони параметри, а крајниот резултат се добива во вид на квантитативен показател (бројка) што ја дефинира класата на карпести маси. Заради нивното значење и голема примена во практиката, истите се подетално анализирани.

#### ➤ RMR системот на Bienawiski

Оваа класификацијата е заснована на квантитативна поделба на карпестите маси, врз основа на комбинација од пет основни класификациони параметри. За дадена вредност на параметрите, авторот доделува одреден број поени. Нивниот

збир го дефинира вкупниот рејтинг. Како шести (дополнителен) параметар се воведува поправка за ориентацијата на најмеродавниот пукнатински систем, чијашто вредност се одзема од вкупниот збир на поени. Според квалитетот на карпеста маса (нејзиниот рејтинг) карпите се поделени во пет основни категории, со соодветен квалитативен и квантитативен опис (Табела 2,2).

Теоретски, карпите со најслаб квалитет имаат вредност  $RMR \leq 20$ , а највисок квалитет се однесува за многу цврста карпеста маса без пукнатини, која има вредност на  $RMR=100$ .

Основните класификациони параметри се однесуваат на некои од најзначајните својства и состојби на карпестите маси и тоа:

1. Јакост на монолитни делови од карпата којашто може да се изрази или преку едноосијалната јакост на притисок ( $sp$ ) или преку т.н. индекс на јакост ( $J_s$ ).
2. Параметар кој се однесува на степен на испуканост, дефиниран преку т.н. **RQD**-вредност, првобитно дефиниран од страна на D.Deere (во оригинал RockQualityDesignation).
3. Растојание меѓу пукнатините (под поимот **пукнатина** се подразбираат сите дисконтинуитети како пукнатини, раседи, кливаж, фолијација, шкрилавост, слоевитост).
4. Состојба на пукнатините, се однесува на отворот, видот на наполнител и неговата дебелина, континуитет и рапавоста.
5. Состојба на подземна вода, за која е посветено соодветно внимание, со оглед дека е од големо значење за стабилноста на подземниот отвор.

Табела 2.2 Класификација на карпести маси според Bieniawski, 1989

Table 2.2 Classification of the rock masses according to Bieniawski, 1989

А. Параметри за класификација и нивниот рејтинг								
Параметар		Дијапазон на вредностите						
1. Јакост на монолитни делови	Индекс на јакост Јс (МПа)	>10	4-10	2-4	1-2	<1		
	Јакост на притисок $\sigma_p$ (МПа)	>250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	<1
поени		15	12	7	4	2	1	0
2. Показател на квалитет RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
поени		20	17	13	8	3		
3. Растојание меѓу пукнатини		>2 м	0.6-2м	0.2-0.6 м	60-200 мм	<60 мм		
поени		20	15	10	8	5		
4. Состојба на пукнатините		многу рапави пукнатини неkontинуирани без отвор свежи пукнатински и сидови	брановидни пукнатински површини отвор < 1мм слабо изменети пукнатински сидови	брановидни пукнатински површини отвор < 1мм силно изменети пукнатински сидови	рамни и мазни пукнатини или заполнител со дебелина < 5 мм отвор 1-5 мм континуиран	мек наполнител >5 мм дебелина или отвор >5 мм Континуиран		
поени		30	25	20	10	0		
	Доток на 10 м должина од тунел (л/мин)	Без доток	<10	10-25	25-125	>125		



5. Со стојба на подзе- мна вода	Однос меѓу притисок од вода и главен напон	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5
	Генерал- на состојба	Целосно суво	Слабо провлажува ње	Влажно	Капење	Течење
поени		15	10	7	4	0
Б. Поправка заради ориентација на пукнатините						
Ориентација на протегањето и пад на пукнатините		Многу поволно	Поволно	Добро	Неповолно	Многу неповолно
Поен и	Тунели и рудници	0	-2	-5	-10	-12
	Темели	0	-2	-7	-15	-25
	Косини	0	-5	-25	-50	-60
В. Класи на карпести маси одредени од вкупниот збир на бодови						
Рејтинг		100-81	80-61	60-41	40-21	<21
Класа бр.		I	II	III	IV	V
Опис		Многу добра карпеста маса	Добра карпеста маса	Поволна карпеста маса	Слаба карпеста маса	Многу слаба карпеста маса

Параметри:

- специфична тежина,
- волуменска тежина,
- порозност,
- гранулометарски состав,
- пластичност и конзистенција,

- збиеност,
- стисливост,
- водопропустливост,
- влажност,
- бабрење и собариње.

**Специфична тежина** се изразува како тежина на цврстите честички на карпата во единица на волумен, без учество на пори, пукнатини или каков било друг празен простор во вкупниот волумен на карпата, а се изразува со следниот однос:

$$\gamma_s = \frac{G_s}{V_s} [\text{kN/m}^3] \quad (2.1)$$

Каде што:

$\gamma_s$  - волуменска тежина на цврстите честички на карпата  $[\text{kN/m}^3]$

$G_s$  - тежина на сува минерална супстанца  $[\text{kN}]$

$V_s$  - волумен на минералната супстанца  $[\text{m}^3]$

Специфичната тежина кај карпите најчесто се движи во границите од  $\gamma_s=26-32 \text{ kN/m}^3$ . Интервалот на вредностите е во границата на средната вредност на специфична тежина на поважните петрогени минерали.

**Волуменска тежина на карпите** е тежина на единица на волумен на карпест примерок. Волуменот на примерокот претставува збир на минералната супстанција и нејзините пори. Се изразува со следниот однос:

$$\gamma = \frac{G}{V} [\text{kN/m}^3] \quad (2.2)$$

Каде што:

$\gamma$  - волуменска тежина на карпи во природна состојба [ $\text{kN/m}^3$ ]

$G$  - тежина на карпест примерок во природна состојба [ $\text{kN}$ ]

$V = V_s + V_p$  - волумен на примерок [ $\text{m}^3$ ]

$V_s$ - волумен на минерална супстанца

$V_p$ - волумен на порите

**Порозноста на карпите** го претставува сиот празен простор (пори, пукнатини, шуплини и др.) во единица волумен на карпата. Според времето на постанокот, порозноста може да биде *примарна*-кога настанува истовремено со постанокот на карпата и *секундарна*-која се јавува дополнително по постанокот на карпата, под дејство на различни фактори.

## 2.2 Механички својства на карпите

Под поимот *механички својства* се подразбираат оние својства кои се манифестираат кога карпите се изложени под дејство на сила. Притоа, оптоварувањето може да биде статичко или динамичко. Во овие својства поважни се *јакоста на карпите, еластичноста, пластичноста, тврдината, деформабилноста, жилавоста, абразивност, абегњето* и др.

### ➤ Јакост на карпите

**Јакоста на карпите** е отпор кој тие го даваат кога се изложени на дејство на различни напрегања. Во зависност од видот на напрегање (притисок, затегнување, свиткување, смолкнување и др.) разликуваме повеќе видови на јакост и тоа *јакост на притисок, затегање, свивање, торзија* итн. (слика 1)

Кога приложувањето на товарот е континуирано и постепено (бавно) карпата манифестира **статичка јакост**. Кога приложувањето на товарот е краткотрајно и брзо тогаш карпата манифестира **динамичка јакост**. Јакоста кај карпите зависи од цврстината на минералите, начинот на нивната поврзаност, порозноста, свежината на минералите, количеството на врзивото (ако зрната се посредно сврзани), влажност и друго. Со оглед на тоа што карпите се многу поотпорни кога се изложени

на напони на притисок, од интерес во инженерство е најчесто се анализира јакоста на притисок.

### Јакост на притисок на карпите (sp)

Јакоста на притисок се испитува лабораториски, на карпести примероци во правилни геометриски форми.

Се препорачува дијаметарот на пробното тело да не биде помал од  $D=54\text{ mm}$  (т.н. NX јадро). Силата се приложува сè додека не се предизвика лом на примерокот, така што таа сила се зема како меродавна за пресметка на јакоста на притисок:

$$\sigma_p = \frac{P}{A} \text{ [кN/m}^2 \text{ или MN/m}^2\text{]} \quad (2.3)$$

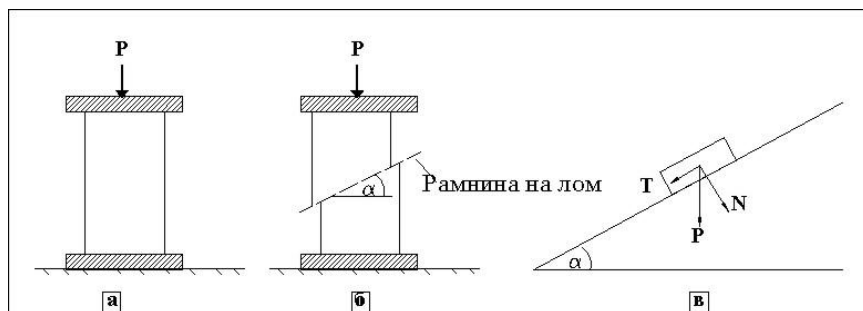
Каде што:

$P$  – сила во момент на лом на примерокот [кN или MN]

$A$  - површина на напречен пресек на примерокот [ $\text{m}^2$ ]

### ➤ Јакост на смолкнување

Јакоста на смолкнување се дефинира како отпор кој карпите го даваат при дејство на силите на смолкнување..



Слика 1. Лом на примерок во природа заради сили на смолкнување (T)  
Figure1. Fracture on a sample or the body in nature due to the shear forces (T)

Ако карпестата маса во природа или пак на примерок во лабораторија постепено се оптоварува со сила  $P$ , во момент кога ќе се надмине (исцрпи) јакоста на карпите на смолкнувањето ќе настане поместување по определена рамнина, која ќе биде наклонета под агол  $\alpha$

Аголот  $\alpha$  се нарекува агол на најмал отпор на смолкнување. Наједноставна илустрација на процесот на смолкнување се гледа од Сликата 17-в, за едно тело (блок) на една наклонета рамнина. Ако аголот на наклонетата рамнина се зголемува, телото со тежина која влијае како сила ( $P$ ) е во стабилна состојба сè додека тангенцијална компонента ( $T$ ) не стане поголема од силата на триењето ( $N$ ), која се јавува меѓу телото и рамнината на наклон. Од тој услов се добива силата на триењето:

$$T = N \operatorname{tg} \varphi \quad (2.4)$$

Збирот на сите сили на триење, поделен со вкупната допирна површина ( $A$ ), ќе ја даде јакоста на смолкнување на почвата ( $T$ ), додека збирот на сите нормални сили поделени со вкупната допирна површина го дава нормалното напрегање ( $c$ ) па се добива:

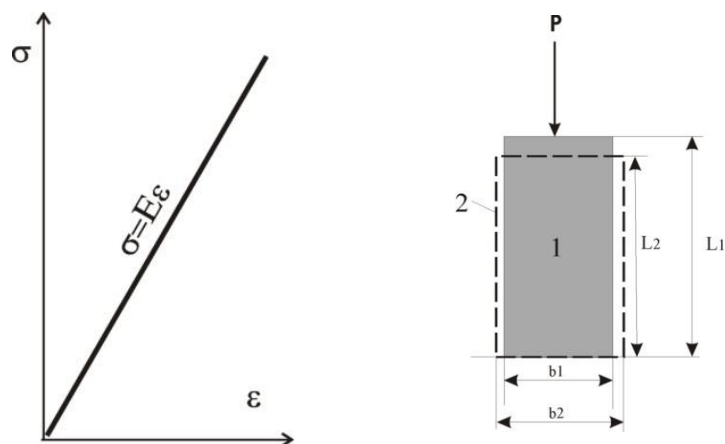
$$\frac{\sum T}{A} = \frac{\sum N}{A} \operatorname{tg} \varphi \quad (2.5)$$

Јакоста на смолкнување, воопшто, се смета како најзначајна при решавање на голем број на проблеми од геотехниката како:

- дефинирање на стабилноста на падините и косините;
- дефинирање на носивоста на подлогата при оптоварување со објектите;
- стабилност на ископот кај подземни објекти и др.

➤ Деформабилност на карпите

Деформабилноста е својства на карпите да го менуваат волуменот и формата кога се изложени на дејство на надворешните сили. Притоа, силите треба да се под граничните, како не би се предизвикал лом (со што се навлегува во јакоста на карпите). За карпи без дефект важат законите на теоријата на еластичноста за идеално еластично (Хуково) тело.



Слика 2. Дијаграм напон – деформација за Хуково тело  
Figure 2. Diagram tension - body deformation for Hooke object

Како израз или мерка за деформабилноста се користи модулот на еластичноста -  $E$  (Јунгов) и модулот на деформацијата -  $D$ , како и коефициентот на напречната деформација -  $\nu$  (Пуасонов коефициент).

Од познатата равенка *Хукова равенка* за пропорционалноста помеѓу напоните и дилатациите (релативни деформации) имаме:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (2.6)$$

односно

$$E(D) = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.7)$$

при што е:

$$\sigma = \frac{P}{A}, \varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \text{ и } \Delta l = L_1 - L_2 \quad (2.8)$$

каде што:

$P$  - оптоварување [кN];

$A$  - напречен пресек на примерокот [ $m^2$ ];

$\sigma$  - предизвикани напон на притисок од силата  $P$ ;

$\varepsilon$  - надолжна дилатација (во правец на силата  $P$ );

*L1- почетна висина во случајов (димензија во правец на дејството на силата P);*

*L2- иста димензија по приложениот товар;*

*D- деформација (скратување на примерокот, односно промена на висината - димензија во правец на дејството на силата P).*

Бидејќи карпите се одликуваат и со деформација која е нормална на правец на дејството на силата P, се јавува т.н. Пуасонов ефект:

$$\nu = \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon}, \varepsilon_b = \frac{\Delta b}{b}, \Delta b = b_1 - b_2 \quad (2.9)$$

каде што:

*$\nu$  - Пуасонов коефициент;*

*$\varepsilon_b$  - напречна деформација (релативна деформација напречно на дејство на силата P);*

*$\Delta b$ - деформација (проширување на примерокот, мерна база, напречно на силата P);  $b_2$  - промена на димензијата напречно на силата P.*

Реципрочна вредност на  $\nu$  е еднаква на:

$$m = \frac{1}{\nu} \quad (2.10)$$

и претставува Пуасонов број.

За свежи карпести примероци вредностите за модулот на еластичноста и Пуасоновите коефициенти се движат во следните граници:

Табела 2.3 Типични вредности за јакост на притисок за одредени видови карпи  
Table 2.3 Typical values for the compressive strength of certain rocks

Карпа	Модул на еластичноста (E)[GN/m <sup>2</sup> ]	Поасонов коефициент (неименуван број)
Варовник	20,0	0,2 - 0,3
Песочник	31,0	0,05 - 0,25
Андезит	33,0 - 48,0	0,21 - 0,32
Гранит	35,0	0,20 - 0,36
Мермер	10,0 - 30,0	0,25 - 0,30
Глинец	10,0	0,35 - 0,40

Во праксата покрај наведените методи за испитување на тврдоста се користи итн. Мосова скала за релативната тврдост на минералот како наједноставен начин за оценка на ова својство со вредноста на отскок на Шмитовиот чекан.



Слика 3. Изглед на скелерометар

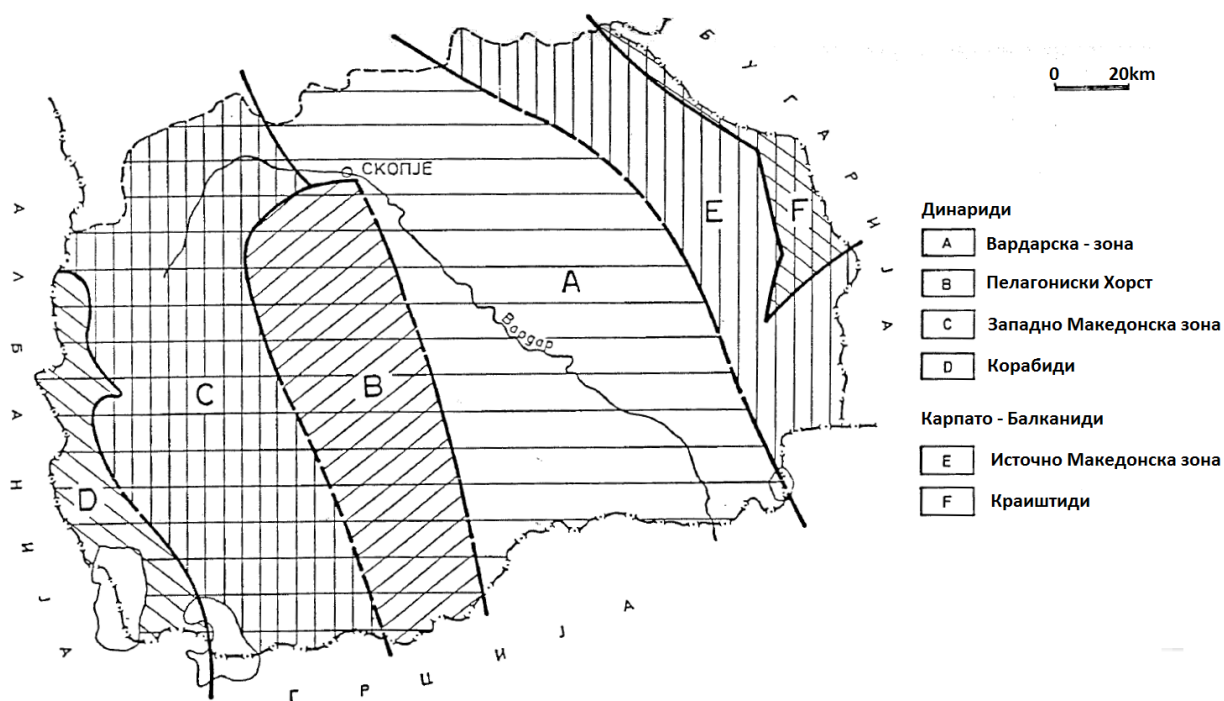
Figure 3. A view of skelerometar

### 3. Карпести маси на територијата на Република Македонија



Територијата на Македонија која се наоѓа во централниот дел на Балканскиот Полуостров зазема површина од 25713 km<sup>2</sup>. Во нејзината градба учествуваат многу структурни елементи кои се карактеристични за овој дел на алпскиот појас. За да ги претставиме тектонските карактеристики на територијата на Македонија и нејзината геолошка градба, прво ќе се осврнеме спрема литературни податоци на тектонската реонизација на оваа територија, со тоа што ќе биде даден описот на нивните литостратиграфски карактеристики за да се види нивниот развој низ геолошката историја.

За потребите, за корелација со длабинските структури во вториот дел на ова поглавје ќе бидат прикажани основните морфоструктурни карактеристики на територијата на Македонија кои се изразени во современиот релјеф и имаат тесна врска со гравитационото поле. На Сликата 4. е дадена тектонската реонизација на



Слика 4. Тектонска реонизација на Република Македонија

Figure 4. Tectonic regionalization of Republic of Macedonia

Наведените структурни зони како што беше кажано се карактеризираат со посебен геолошки развој, а што се гледа од застапеноста на различни литолошки

комплекси кои се разликуваат по својот состав, староста и степенот на нивната дислоцираност. Понатаму ние ќе ги прикажеме овие наведени особини за секоја структурна зона поединечно.

➤ Вардарска зона

Границата на оваа тектонска единица спрема источно македонската зона и спрема Пелагонискиот хорст се издвојува со длабински раседи вдолж кои се изнесени офиолитски стени или се манифестира млад терциерен вулканизам. Ширината на Вардарската зона на територијата на Македонија варира од 60 – 80 km и претставува многу лабилна зона, што условило да во неа се застапени скоро сите литолошки формации од различна старост кои учествуваат во градбата на различни блокови. Во целина бројните блокови во Вардарската зона се издолжени по протегањето на истата и претставуваат реликти од пликативни форми (антиклинали и синклинали) кои во процесот на тектогенезата што се одвивала низ целата геолошка историја различно се искршени.

*Прекамбриум* – Во Вардарската зона се издвоени четири блока кои се изградени од прекамбриски комплекси. Во западниот дел (западно од долината на реката Вардар) блокот Елен Шупе кој е изграден од гнајсеви и микашисти има циполини и мермери. На подрачјето на Мала Рупа, каде прекамбрискиот комплекс има форма на шток, во долниот дел се застапени мусковитски гнајсеви а во горниот дел циполини и мермери.

Прекамбриумот на Серта и Плавуш се разликува по тоа што меѓу гнајсевите има траки од амфиболити и мермери. Посебен блок во источниот дел на Вардарската зона е Бучимскиот, кој е изграден од прекамбриски биотитски гнајсеви и силимнитски кориеритски гнајсеви. Средната дебелина на метаморфниот комплекс во Вардарската зона изнесува од 1500 – 2000m.

*Палеозоик* – Основните белези со кои се карактеризира палеозоискиот комплекс е тоа што во базата содржи зелени стени, а над нив се надоврзуваат филитично – серицитски и серицитско – кварцни шкрилци, сменувајќи се по хоризонтала и вертикала. Заедно со нив се придружени филитите, кварцитите и

најчесто како завршни членови се јавуваат мермери или пак овие се јавуваат како прослојци во шкрилците. Во профилот почнувајќи од долу па нагоре се издвојуваат следните литолошки членови: глинци, рожњаци, алевролити, песочници како долни делови, додека нагоре во главно доминираат разновидни варовници. Според некои автори тријасот е застапен во долниот дел со лапоровити варовници на места се застапени глиновити шкрилци и песочници. Средниот тријас е претставен со две фации:

- Фација на глинци, песочници, рожњаци и дијабаци, која треба да претставува еквивалент на дијабаз – рожњачката формација и
- Фација на разновидни варовници во кои учествуваат и доломити.

*Јура* – Јурските седименти се застапени во следните локалности: Демир Капија, во околината на Куманово, односно источните падини на Скопска Црна Гора и на планината Клепа, односно кај планината Руен во една тесна која се протега југоисточно од Клепа. На Скопска Црна Гора кај Лојане и Липково е формирана дијабаз – рожњачка формација и зоогено – спудна фација. Одделно се истакнува гарбоидно – дијабазната маса кај Дрен – Боула со појавата на дијабаз – рожњачката формација.

*Кредни седименти* – долно кредни седименти се докажани само кај Мочарник (Штипско) во фација на конгломерати и песочници. Во областа на Скопска Црна Гора и во долината на Лепенец се издвоени варовници. Долно кредните седименти се издвојуваат во фација на базални конгломерати, флишна серија и варовници. Флишната фација е доста разновидна и претставена со сиви и сиво бели слабо цементирани песочници, со делумни периоди во конгломератични партии, потоа разнобојни песочници, црвени и виолетови глиновити лапорци. Сите три фации се палеонтолошки докажани со фосилни методи.

*Палеоген* - палеогени седименти се застапени во: Скопската Котлина, Овче Поле, Тиквеш, Серта, Гевгелиско, Раброво и Дојран. Еоценските седименти се претставени со: конгломерати, жолти и сиви песочници, флиш претставен со песочници, глинци, јагленови глинци, калкарени, лапорци и варовници.

*Магматски карпи* - Во Вардарската зона се застапени магматски карпи кои по својот состав и хемизам почнуваат од нај базични до нај кисели. Издвоени се следните типови на стени: дунити, перидотити, ортоамфиболити, габрови, диорити, гранодиорити, монцонити, гранити и аплити. Од ефузицните стени се застапени: дијабази, спилити, кератофири, кварцкератофири, ортофири, кајанити (трахи – базалти), андезити, дацити (трахити, кварцлатити и др.) кварц порфири и риолити.

➤ Пелагониски хорст

Пелагонискиот хорст го зазема просторот: од западната страна започнува со долината на Треска, продолжува на југ каде зафаќа јужно од Пелагониската Котлина и достигнува сè до македонско – грчката граница, додека источната граница е со Вардарската зона.

Во градбата на Пелагонискиот хорст учествуваат високо метаморфни карпи и тоа од прва рупа и гранитоиди. Според најновите регионални геолошки проучувања во склопот на Пелагонискиот хорст учествуваат четири серии и тоа:

- *Серија на гнајсеви* – Оваа серија е најповеќе застапена и претставува високометаморфна шкрилеста маса, во која се издвоени повеќе типови на разни стени: доминираат окцасти гнајсеви, дволискунски тракасти гнајсеви. Се издвојуваат леќи и прослојци од бели сахароидни крупнозрни калцитски мермери. Во долниот дел на серијата се јавуваат леќасти партии на прослојци од амфибиолски шкрилци.
- *Серија на микашисти* – Таа е претставена во разновидни микашисти во кои кварцот и лискуниот се доминантни минерални компоненти, а после тоа се застапени: гранат, дистен стауролит, амфибол, турмалин и др. Има партии во кои во серијата на микашисти учествуваат темно до скоро црни графитични кварцити со прослојци од лискуни шкрилци.
- *Мешана серија* – Таа опфаќа цел еден комплекс од доста разновидни петрографски членови во кои се издвојуваат: бобичасти гнајсеви, фелдспартицирани хлоритошисти, циполини, талкшисти и мермери.

- *Серија на мермери*– Од нив се изградени планинските масиви Јакупица, Караџица, Поречје, Козјак со Плетвар Беловодица, па надолу сè до Ниџе каде преминуваат на грчка територија. Во склопот на мермерната серија се издвоени калцитски и доломитски мермери.

➤ **Западно македонска зона**

Западно од Пелагонискиот хорст сè до македонско – албанската граница и на југ сè до грчка граница, на север до Србија се протега западно – македонската зона. Како најстари формации во Западна Македонија се издвоени од стар палеозоик

*Стар палеозоик* – Во склопот на палеозоикската формација можно е да се издвојат следните страиграфско – литолошки единици:

- Самоковска серија застапена со графични и други видови на шкрилци;
- Конгломератична серија, во која се издвоени конгломерати, песочници и шкрилци;
- Фелдспатизирани шкрилци (гнајсеви);
- Хлоритско – серицитски и амфиболско – епидотски шкрилци. Како пропратни стени со овие се јавуваат графитични шкрилци со филтри и арфилошисти;
- Серицитско – графитично – кварцни шкрилци и филито микашисти. Оваа серија е застапена на просторот меѓу Кичево и Гостивар;
- Кварцно –серицитски шкрилци, песочници и кварцит;
- Филити – аргилошисти – песочници и конгломерати и
- Комплекс на карбонати и доломитски стени.

*Тријас* – Тријасот во Западна Македонија зазема големо пространство и се јавува во форма на покривка над постарите палеозојски стени.

*Корабиди* - Корабидите се разликуваат со тоа што споменатите мезозојски формации имаат ист развој како и во Динаридите, односно Хеленидите. Тријаските наслаги во Западна Македонија се исти и за зоната на Корабидите, додека останатите мезозојски формации се типични само за оваа зона.

*Јура* – Се застапени филито – кварцни шкрилци аргилошисти, глинци со црвена и зеленикава боја, песочници, црвени рожњаци и рожњачки шкрилци.

*Креда* – Порано кредните седименти беа познати само од околината на Дебар и долж македонско – албанската граница и тоа од Шпилски Мост кон југ. Со најновите геолошки испитувања кредните седименти се проширени и на просторот Строгово, Дешат, мала Корабска Врата.

*Еоцен* – Застапен изразито грубо кластичен материјал составен од конгломерати со извонредно големо шаренило на гранулацијата на компонентите, потоа учествуваат преталожени седименти од флишоидни стени, а особено песочници и глинци.

*Магматски карпи* - Магматските карпи на територијата на Западна Македонија и Корабидите се доста застапени по видови разновидни: кисели, интермедијани и базични. Од киселите магматски стени најповеќе се застапени гранитите, гранодиорити, монцонит – диорити и гранодиорити, кварц – порфири и порфирити, пегматитски тела и др. Од базичните магматски стени посебен интерес имаат: монцонит- габрови и дијабази.

Застапеноста на прикажаните типови магматски стени не е насекаде иста. Додека во источниот дел на Западна Македонија доминираат кисели, гранитски интрузии, во западниот дел на Западна Македонија доминираат интермедијарни стени (дијабази, гарбо - дијабази), а во Корабидите се присутни претежно ултра базични стени со потчинето значење на базични. Овие податоци можат да послужат како репер на подетално реонирање на овие зони.

#### ➤ Источно – македонска зона

Во градбата на источно – македонската зона учествуваат комплекси од прекамбриска и палеозојска старост, а исто така магматски творевини во форма на гранитски интрузии и вулкански изливи и нивни туфови.

*Прекамбриум* - Прекамбриумот е претставен со карпи кои се поделени во две групи: долен и горен комплекс или стени со повисок и понизок степен на метаморфизам. Во долниот комплекс се издвоени разновидни гнајсеви и микашисти, додека горниот комплекс е претставен од шкрилци, најчесто албитизирани. Тоа се хлоритски, хлоритско амфиболски, хлоритско – серицитски и кварцни шкрилци.

*Палеозоик* – Е застапен со шкрилци од понизок степен на метаморфизам и се однесуваат кон стар палеозоик. Меѓу овие шкрилци се издвоени различни литолошки членови и тоа: албит – хлоритски, хлоритско – епидотски шкрилци, амфиболски шкрилци и други стени кои му придаваат на целиот овај комплекс зелена боја. Дефинирани се како рифеј – камбриум.

*Магматски стени* – Во источно – македонската зона присутни се бројни тела на гранитоиди кои претставуваат полифазни интрузии од порфиرويدни биотитски до леукократни албитски гранити.

#### ➤ Струмска зона

Оваа зона издвоена во пограничниот дел со Бугарија претставува клин од Карпатите, кој е врежан во старото кристалесто јадро на Родопската маса, кој сега го одделува македонскиот масив од сопствената Родопска маса. Во градбата на оваа зона учествуваат комплекси од палеозоик и мезозоик, а исто така се присутни и палеогени наслаги.

*Магматски карпи* – Магматските карпи се широко распространети во Струмската зона, претставени се со гранити, како интрузивни тела и андезитско – дацитски лави и нивни туфови како вулкански творби. Освен тоа постојат и помали интрузии од габроиден состав.

Неогенот на територијата на Македонија е претставен со континентални наслаги претежно езерски и тоа во различни фации. Овие наслаги се сочувани во депресиите. Квартерните наслаги се претставени со континентален тип во вид набарски и пролувијални седименти.

#### **4. Геолошка градба на Скопска Котлина**

На сликата е дадена скопската депресија и нејзината околина. Оваа карта е компилација од карите: Скопје, Куманово, Качаник и Велес од основната геолошка карта на Република Македонија изработена во размер 1:100 000. Во склопот на



истите издвоени се: комплекс на прекамбриски метаморфни и магматски карпи; комплекс на рифеј – камбриски метаморфни карпи; комплекс на палеозоиски метаморфни и магматски карпи; комплекс на мезозојски седименти и магматски карпи; комплекс на терциерни и квартерни седименти.

Прекамбрискиот комплекс припаѓа на Пелагонискиот хорст – антиклинориум и е претставен со високо – метаморфни карпи сврстани во гнајсно – микашисна, мешана и мермерна серија, како и гранитоидни и магматити.

Гнајсно – микашисната серија го претсатвува најстариот дел на Пелагонот и во најзините подински делови развиени се тракасти мусковитски, дволискунски, и текни прослојки од амфиболити. Горните делови на серијата се изградени во главно од гранатско и гранатско – графитични микашисти со мали и поголеми амси од мусковитски гнајсеви.

Мешаната серија претставува преоден хоризонт меѓу гнајсно – микашисната и мермерната серија. Односот спрема гнајсно – микашисната серија е конкордантен. Литолошки мешаната серија изградена е од албитски гнајсеви, циполини, гранатски и графитични микашисти.

Мешаната серија спрема повисоките делови постепено преку циполини преминува во мошне дебела карбонатна серија со која се издвоени: калцитски мермери со прослојки од доломити, темно – сиви до црни калцитски мермери, бело – сиви ситнозрнести доломити и средно зрнести сиво – бели калцитски мермери.

Магматските карпи во прекамбрискиот комплекс за разлика од јужните делови на Пелагонот послабо се застапени, а се претставени во главно од гранодиорити и нивни жилни диференцијати, аплити и кварцни жили. Овие магматити ги пробиваат карпите од гнајсно – микашисната серија. Врз основа на резултатите од мерењата на изотопна старост во централниот дел на Пелагонот истите се третирали како прекамбриски.

Долж ободот на Пелагонот над карпите од прекамбрискиот комплекс лежат рифеј – камбриски творевини претставени со графитични шкрилци, кварц – мусковитски шкрилци, циполини и мермери.

Во склопот на западно – македонската зона широко се распространети како палеозоиски, така и мезозоиски карпи, палеозоиските творевини се вброени во стар нерасчленет палеозоик и карбон.

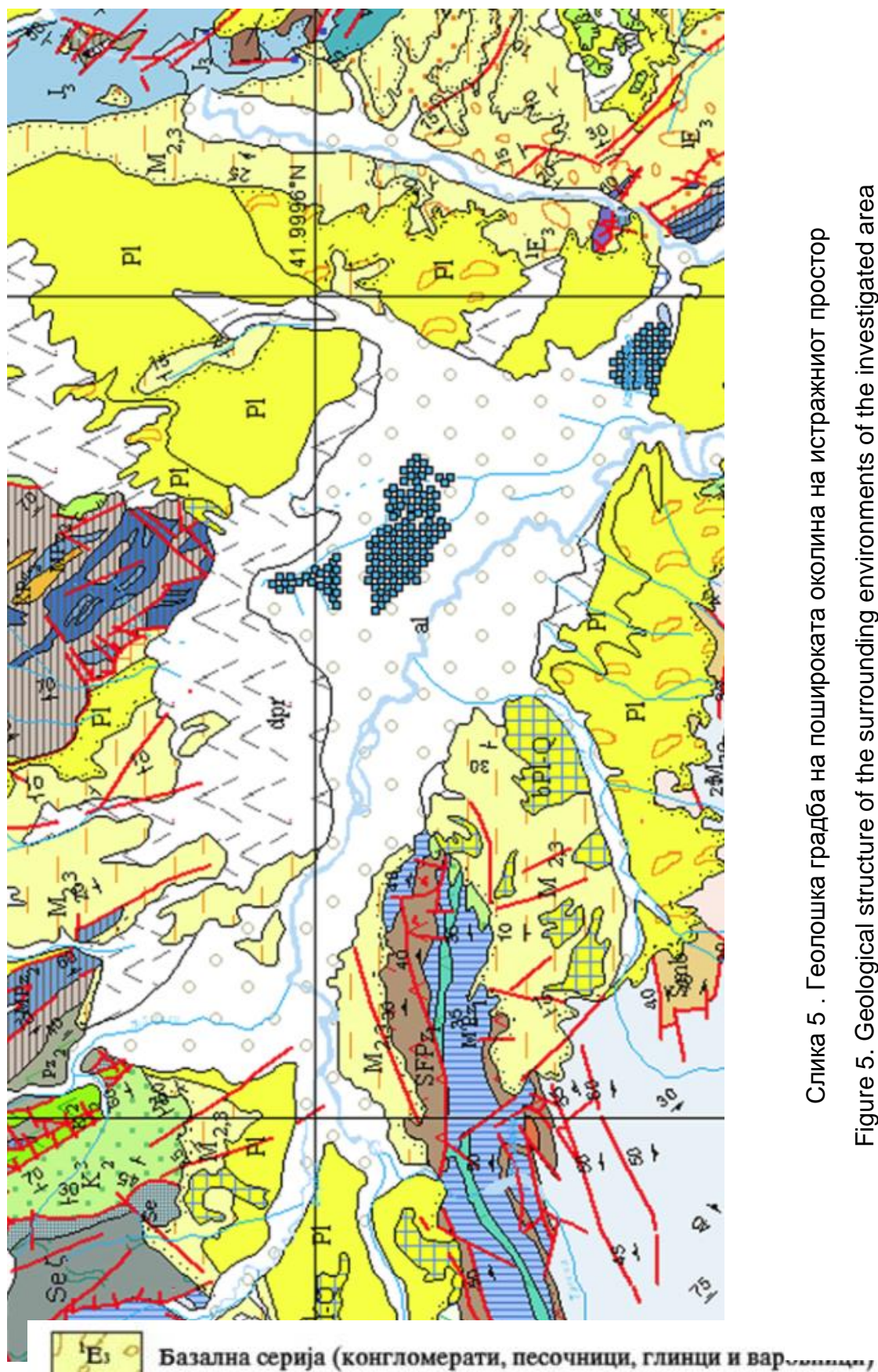
Нерасчленетиот палеозоик е претставен со значително дебела серија од филитоидни карпи во која доминираат кварц – мусковитските шкрилци и мета – песочници со ретки прослојки од графитични шкрилци и епидот – хлоритски шкрилци. Што се однесува до староста на овие карпи палеонтолошки не е документирана.

Карбонот е развиен во доста дебела вулканогено – седиментна серија. Долниот дел на серијата е развиен од разноврсни зелени шкрилци, каде орто шкрилците (метадијабази) преовладуваат над кластично – карбонатите, додека во горните делови преовладуваат карбонатни шкрилци и мермеризирани варовници.

Творбите од палеозоискиот комплекс се пробиени во доста голема маса од гранити кои со испитувањето на изотопна старост се одредени како херцински.

Мезозоискиот комплекс е застапен во главно во карбонатна фација, чија старост врз база на оскудни палеонтолошки наоди е одредена како средно тријаска, но со знак на прашање, додека сенонската старост на кредните седименти е документирана со бројни палеонтолошки податоци.

На подрачјето на Западна Македонија во повеќе мали и поголеми маси се јавуваат гранодиорити, мусковитски и аплитоидни гранити, за чија старост немам податоци, а врз база на нивниот однос со околните метаморфни комплекси се третирали како мезозоиски (долна креда).



Слика 6. Легенда на геолошките формации застапени во пошироката околина на истражниот простор

Figure 6. Legend for the geological formations for the shrouding environment presented in the investigated area

Во комплексот на терциерно – квартерните седименти се издвоени средно и горно миоценски глинци и алевролити, кои постепено преминуваат во песоци и слабо врзани конгломерати. Плиоценот во долните делови е претставен со песоци и глини преку кои на места се развиени како плочи од бигорливи варовници.

Квартерните седименти се претставени со глацијални наслаги, црвеница, падински бречи, пролувијални и алувијални наслаги.

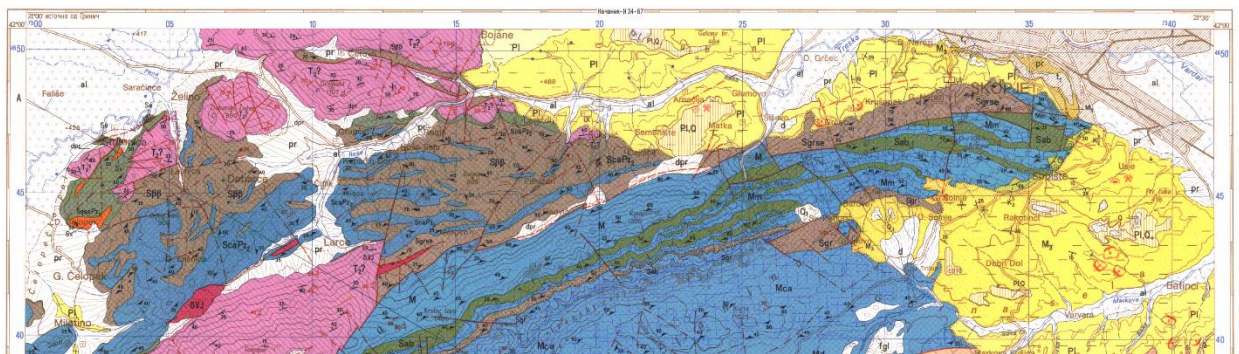
Теренот на листот Скопје тектонски припаѓа кон две единици: Пелагониски хорст – антиклинориум и Западно – Македонска зона. Овие единици се одделени со длабинска дислокација и секоја од нив се карактеризира со своја специфична тектонска градба.

На база на спроведеното детално геолошко картирање на истражниот простор е изработен геолошкиот лист во размер 1 : 100 000, се направени профили и геолошки столб за длабинската градба на дадениот простор. На следните прилози се прикажани графички добиените резултати од истражувањата.

Од картирањето на дадениот простор и длабинската анализа на застапените карпести маси може да се заклучи дека на овие простори доминираат седиментни карбонатни формации, како и други седиментни и метаморфни карпи со различна старост.

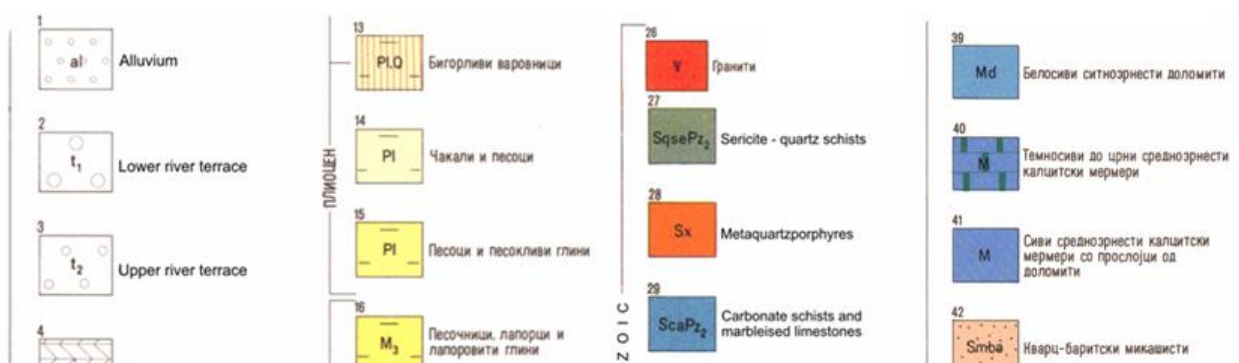
Спроведените геофизички и лабораториски геомеханички испитувања покажаа дека овие карпи можат да се користат во градежната индустрија, а од аспект на физички – механичките параметри се со широк дијапазон.

На Сликата 8. е претставена легендата од застапените геолошки формации како и образложение за користената симболика на презентираната карта. На прилозите 9 и 10 се претставени геолошките профилни линии кои се бележани на геолошката карта, заедно со геолошкиот столб на истражниот простор кој е презентираан на Сликата 11.





Слика 7. Геолошка градба на Скопска Котлина  
Figure 7. Geological structure of the Skopje valley

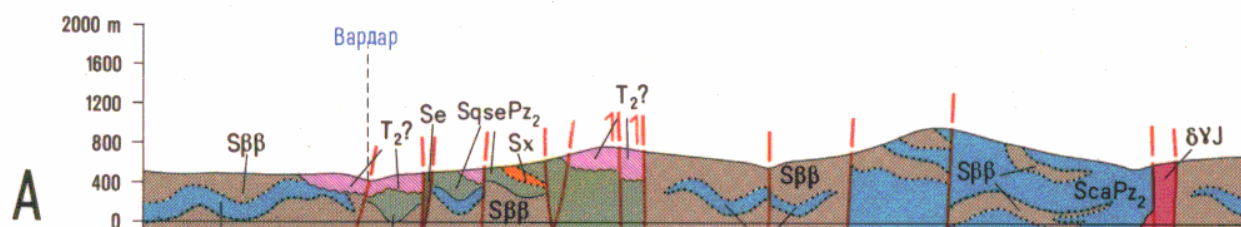


⛪ Црква	—+— Нормална железница	⚙ Нарпест отсек
⛪ Капела	== Автомобилски пат	• 2539 Нота
⛪ Манастир	- - - Колски пат	• Извор, кладенец
⛪ Споменик	—+— Мост	♀ Чешма
⛪ Религиозен знак, крст	—+— Железничка станица	~~~~~~ Поголема река
⛪ Христијанска гробишта	—+— Изохипса 500 м со падница терена	~~~~~~ Река
⛪ Муслиманска гробишта	—+— Изохипса 100 м. со падница терена	~~~~~~ Поток
	⦿ Вртача	~~~~~~ Суводолица

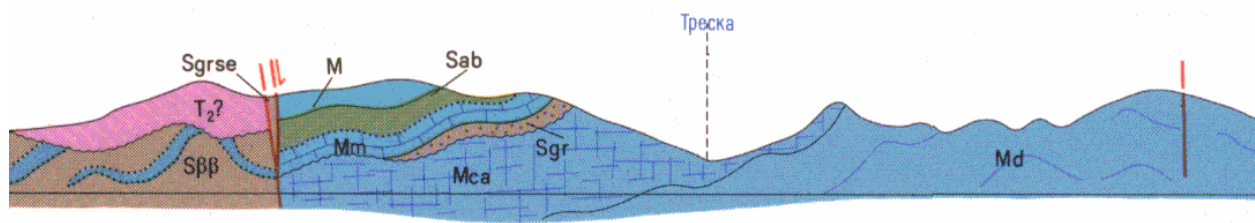
Слика 8. Легенда за геолошките формации и симболите опфатени во геолошката карта

Figure 8. Legend for the geological formations as well as the symbols presented in the geological map

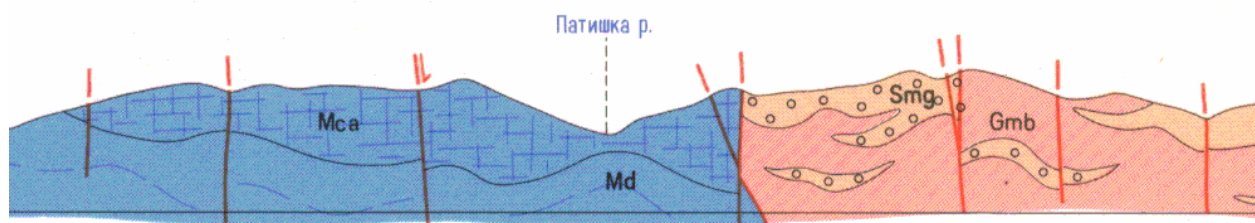
Дел I



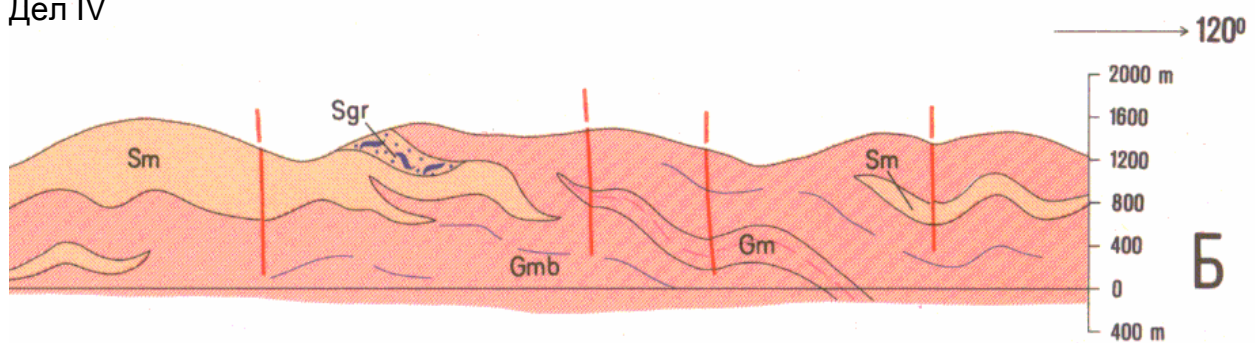
Дел II



Дел III

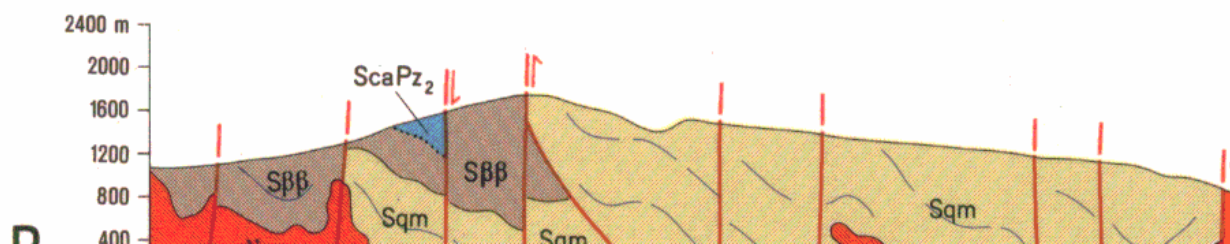


Дел IV



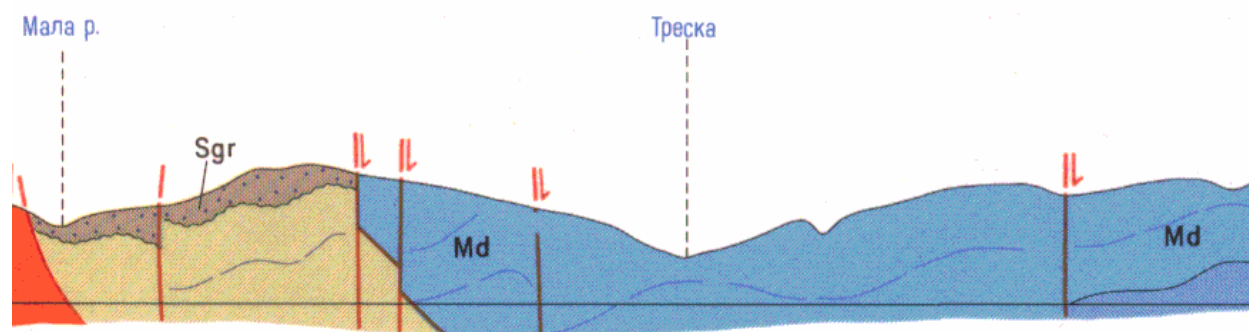
Слика 9. Геолошки профил А – Б  
Figure 9. Geological profile line A – Б

Дел I

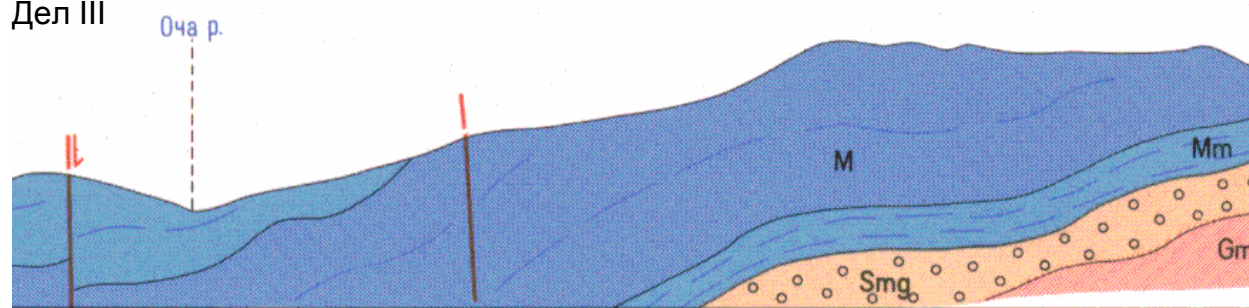




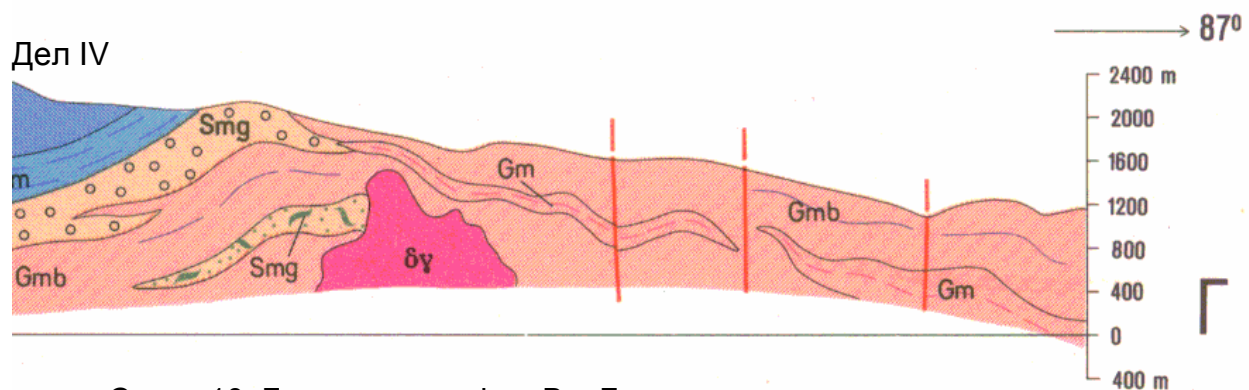
Дел II



Дел III



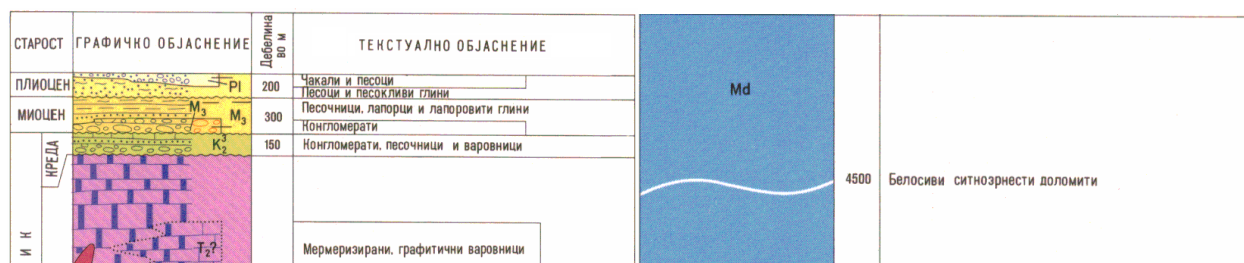
Дел IV



Слика 10. Геолошки профил В – Г  
Figure 10. Geological profile line В – Г

Дел I

Дел II



Слика 11. Геолошки столб на Скопска Котлина  
Figure 11. Geological pillar of Skopje Valley

## **5. Повеќе параметарска класификација на теренот**

Истражниот простор кој е предмет на овој труд во главно е изграден од метаморфни карпести маси и седиментни карпести комплекси, со мало присуство на магматски карпи. Застапените карпести комплекси во главно се испукани, издробени од интензивните геолошки процеси кои се случувале во историскиот развој на геолошкиот простор. Од аспект на искористување на карпестите маси посебно треба да се истакне карбонатите комплекс кој масовно се користи во градежната индустрија. На овие простори се застапени чакалите и песоците кои исто така служат како градежни материјали.

Повеќепараметарскиот класификациски систем во кој се опфатени проблеми на сите главни начини на ископ е разработен од страна на Јовановски (2001) е наречен ERMR (excavationrockmassrating). Тој се однесува за сите видови карпести маси (неврзани, слабо врзани и цврсто врзани). Неговата разработка е направена врз основа на принципот на бодување (рангирање) на карпестите маси. Основите на овој систем се прикажани во Табела 5.1. При изборот на влезните параметри е водено сметка истите да влијаат „рамномерно“ врз отпорот при копање, а да се доволно репрезентативни како карактеристиките на масивот, така и на монолитните делови.

Табела 5.1 Повеќепараметарска класификација на терен како работна средина (ERMР)

Table 5.1 Multiple – parametric classification for field as work environment (ERMР)

Параметар	Класа						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
1. Јакост на притисок (sp)	Неврзани почви	<1	1-5	5-10	10-30	30-70	>70
Индекс на јакост Is (MPa)		<0.1	0.1-0.7	0.7-1.2	1.2 - 2	2.5-4	>4
поени	0	3	5	8	10	12	20

2.Тврдина по Мосова скала	Полвени материјали	1-1.5	1.5-2	2-3	3-5	5-6	>6
Вредност на SHRV	(SHRV<10)	10-13	13-17	17-26	26-35	35-50	>50
поени	1	3	5	8	10	15	20
3.Волуменска тежина( $kN/m^3$ )	12-15	15-18	18-22	22-24	24-27	27-30	>30
поени	3	4	6	8	12	15	20
4.Средна димензија на блок- <b>Ls</b> (cm)	Неврзани почви	<2	2-6	6-10	10-30	30-200	>200
Показател <b>RQD</b> (%)	0	0-10	10-25	25-50	50-75	75-90	90-100
поени	0	4	8	13	16	18	25
5.Состојба на пикнати	Неврзани почви	1.Мазни 2.Континуирани 3. Отвори > 10 mm , 4.Мека исполна (дебалина >10 mm)	1.Мазни 2. Континуирани 3.Отвори 5-10 mm 4.Мека исполна (дебалина 5-10 mm)	1.Средно рапави 2.Континуирани 3. Отвор <1-2 mm, 4.Силно изменети сидови	1.Рапави 2.Континуирани 3.Отвор< 1mm, 4.Силно изменети сидови	1.Рапави 2.Континуирани 3.Отвор< 1mm, 4.Слабо изменети сидови	1.Многу рапави 2.Неконтинуирани 3.Без отвор (стиснат) 4.Неизменети сидови
	тип 1	тип 2	тип 3	тип 4	тип 5	тип 6	тип 7
поени	0	1	2	4	7	8	15
Вкупно поени (ERMР)	<10	10-25	26-40	41-50	51-60	61-80	81-100

Можен метод на ископ	Лесно копање	Вообичаени услови за копање	Многу тешко копање, лесно рипување	Рипување	Рипување - минирање со растресување	Минирање	Тешки услови за минирање
Механизација	RH5	RH8	RH9/D7	D8/D7	D9/D9G		Голема потрош. на експло-зив, блиски мински дупки

Како карактеристики на монолитните делови може да се сметаат следниве параметри:

- јакоста на монолит (**sp** или **Js**, алтернативно);
- волуменска тежина (**g**);
- тврдина, која може да се изрази квалитативно преку Мосовата скала и квантитативно преку параметарот SHRV (по корелација  $SHRV=8.72M-0.04$ ).

Карактеристиките на масивот се презентирани со следните параметри:

- степен на испуканост преку параметрите - средна димензија на блок (**Ls**) или алтернативно преку показателот **RQD**;
- состојба на пукнатинските сидови (која алтернативно може да се дефинира и како даден даден тип на пукнатини, како арбитрарна замена за најзначајните карактеристики како должината (континуитет), отворите, рапавост, наполнител и др.

Во дефинирањето на техничките и физичко – механичките параметри на карпестите маси се применуваат различни методи, од лабораториски гео – механички истражувања, хемиски состав и примена на геофизички методи in site. Предноста на лабораториските истражувања во нивниот висок степен на точност и контрола на добиените податоци. Меѓутоа овие истражувања во принцип се скапи и податоците кои се добиваат се однесуваат за точно определено место, односно од точката на опробување, независно дали е тоа површинска точка или истражуван материјал добиен од дупнатина. Имајќи предвид дека реалниот геолошки простор

е релативно сложен и е подложен на брзи промени како на структура на карпестата маса од аспект на испуканост и други механички карактеристики исто така често се можни промени во хемискиот состав, односно и во самата промена од различни карпести маси кои нормално имаат различни физичко – хемиски карактеристики. Од тој аспект при лабораториските истражувања потребна е густа мрежа на точки за опробување што дополнително го поскапува процесот на изучување на дадениот простор.

Геофизичките методи (сеизмика, магнетика, гравиметрија, електрика), според нивните можности даваат соодветни информации за даден физички параметар на застапените карпести маси, како на пример брзини на простирање  $V_p$  и  $V_s$ , специфичен електричен отпор, степен на магнетичност и густина на карпестите маси. Вака добиените физички параметри на карпестите маси се одраз на целиот истражен простор и геофизичките методи даваат можност за дефинирање на аномалните вредности на тие параметри кои се поврзани со промените во карпестата структура. Затоа е добро при истражувањата на даден простор да се запази една нормална процедура која треба да се спроведе според следниот редослед:

- Регионална геолошка проспекција – со изработката на картата за проспекција на поширокиот простор се дефинира следниот чекор на геолошко истражување, а тоа е:
- Детално геолошко картирање – изработката на картата на детално геолошко картирање преставува подлога за дефинирање на геофизичките профили и изборот на геофизичките методи кои ќе бидат користени во понатамошниот истражен процес;
- Геофизички методи на истражување – овие истражувања ја даваат картата на истражуваниот геофизички параметар или параметри на кои со интерпретација на добиените резултати се издвојуваат аномалните зони како минимум и максимум кои се од интерес на понатамошни истражувања;
- Истражно дупчење во дефинираните аномални зони со лабораториски анализи на картираните карпести маси и

- Реинтерпретација на геофизичките податоци на база на добиените параметри од лабораториските истражувања.

На овој начин со постапното фазно истражување на просторот се штеди време и пари, а е можно и прекинување на истражувањата, посебно во фазата на геофизичките истражувања доколку не се детектираат аномални зони, односно нема потреба од скапи истражни дупчења.

Во Табелата 5.2 се претставени граничните вредности на магнетните карактеристики на одредени карпести структури.

Во Табелата 5.3 се претставени густините на различни карпести структури како основен гравиметриски параметар, додека пак во Табелата 5.4 се претставени спроводливите карактеристики на карпестите масиви.

Табела 5.2 Магнетни карактеристики на карпестите маси  
Table 5.2 Magnetic characteristics of the rock masses

Карпеста маса	Сукцесибилност [ $10^6$ ]
<u>Магнетни карпи</u>	
Андезит	100 - 6000
Базалт	500 – 5000
Дацит	500 – 2000
Дијабаз	100 – 40000
Диорит	50 – 5000
Диоритпорфирит	2500 – 4000
Габро	1000 – 5000
Гранит	100 – 500
Гранодиорит	500 – 7000
Кварциорипорфирити	До 50
Латити	1500 – 4000
Перидотити	500 – 70000
Пироксенити	500 – 15000
Порфирити	100 – 25000
Сиенити	50 – 6000
Трахити	1500 – 3000
<u>Седиментни карпи</u>	
Глини	5 – 500
Варовници	-1 – 20
Пешчари	10 – 500
Пешчари (циренски)	1000 – 5000
Пелити (борски)	100 – 4000
Туфови	500 – 5000
<u>Метаморфни карпи</u>	
Амфиболити	50 – 35000
Кварцити – железовити	20 – 400000
Гнајс	10 – 10000
Серпентинити	200 – 30000
Шкрилци	20 – 5000
Шкрилци – магнетични	100 - 200000



Табела 5.3 Густина на одредени карпести формации  
Table 5.3 Density of rock formations

Карпеста маса		Густина (g/cm <sup>3</sup> )	Карпеста маса	Густина (g/cm <sup>3</sup> )
Гранит		2,56	Дацит	2,73
Сијенит		2,62	Дијабаз	2,95
Андезит		2,68	Габро	2,95
Гранодиорит		2,70	Базалт	2,98
Диорит		2,81	Перидотит	3,20
Минерал		Густина (g/cm <sup>3</sup> )	Минерал	Густина (g/cm <sup>3</sup> )
Албит		2,60	Камена сол	2,10 – 2,30
Анхидрит		2,90	Кварц	2,60 – 2,70
Анортит		2,70 – 2,80	Лимонит	2,70
Апатит		3,20	Магнетит	4,90 – 5,20
Барит		4,50	Мусковит	2,80 – 3,10
Биотит		2,80 – 3,20	Оливин	4,10 – 4,40
Гипс		2,30	Ортоклас	2,50 – 2,60
Гранат		3,20 – 4,30	Пирит	4,90 – 5,20
Доломит		2,60 – 2,90	Пироксен	2,80 – 3,70
Лименит		4,50 – 5,00	Серпентин	2,50 – 2,60
Калцит		2,60 – 2,80	Хематит	5,10 – 5,20
Енергетски сировини		Густина (g/cm <sup>3</sup> )	Рудни сировини	Густина (g/cm <sup>3</sup> )
Гас		0,001 – 0,002	Железна руда	3,70 – 4,30
Нафта		0,70 – 1,10	Хромити	3,30 – 4,40
Јаглен	Кафеав	0,80 – 1,20	Полиметалична руда	3,20 – 5,50
	Камен	1,30 – 1,40	Оксидациона зона	0,80 – 3,10
	Антрацит	1,40 – 1,50		

Табела 5.4. Спроводливи карактеристики на карпести структури

Table 5.4 Conductive properties of rocks masses

Карпеста маса	Специфична електрична отпорност ( $\Omega m$ )					
	10	$10^2$	$10^3$	$10^4$	$10^5$	$10^6$
Седиментни карпи						
Глина	— — — — —					
Ситно зрнест песок		— — — — —				
Крупно зрнест песок		— — — — —				
Лапор	— — — — —					
Доломит			— — — — —			
Песочен камен			— — — — —			
Варовник			— — — — —			
Конгломерат				— — — — —		
Флиш			— — — — —			
Метаморфни карпи						
Перидотит				— — — — —		
Базалти			— — — — —			
Шкрилци		— — — — —				
Габро				— — — — —		
Андезит			— — — — —			
Диорит				— — — — —		
Серпентин			— — — — —			
Гранит			— — — — —			

## **6. Инженерско-геолошки модели на карпести маси на истражниот простор**

Инженерската геологија ги истражува научните и теоретските основи поврзани со инженерско-геолошките истражувања за рационално проектирање на различни објекти.

Во специјалните методи се вклучува и методата на моделирање на теренот која воедно е и најшироко распространета метода во инженерската геологија. Методата се базира на фактот дека секој модел претставува поедноставена верзија од вистинските услови во теренот. Во инженерската геологија и геотехника често се користи методологија на инженерско-геолошко и геотехничко моделирање за различни параметри во интерес на проектирањето.

Геотехничките и инженерско-геолошките модели обезбедуваат можност за брзо и прецизно претставување на фактичката состојба на теренот како и манипулирање со повеќе параметри со цел да се определат последиците од човечко-инженерските активности.

Во магистерскиот труд се обработени дел од геотехничките истражни методи, преку користење на геотехнички модели (инженерски геолошки пресеци (ИГП) како и инженерско-геолошки модел (ИГМ)) при истражување на места на архитектонско – градежен и технички камен.

Терминот геотехнички модел претставува фузија помеѓу теоретското и практичното знаење за карактеристиките на природните геолошки средини како и промените кои се јавуваат како резултат на инженерските активности. Ваков комплексен геотехнички модел содржи три основни модели и тоа:

- Модел на природни геолошки средини:
  - Инженерски геолошки пресеци;
  - Интегрирани инженерски геолошки пресеци и
  - Инженерско геолошки модели.

- Модел од инженерски активности: геотехнички модел во потесна смисла на зборот
- Модел на интеракција

### **6.1 Инженерско-геолошки пресеци (ИГП) и инженерско геолошки модел (ИГМ)**

Инженерските геолошки пресеци се изработени преку различни истражни параметри на карпестите маси за кои за време на испитувањата се добиени поголем број на податоци (нумерички или описни). Во конкретниот случај инженерско-геолошките пресеци се изработени преку три истражни параметри.

Во продолжение ќе биде претставена методологијата на моделирање преку примерот на калцитно – мермерното наоѓалиште „Говрлево“.

За да се почне фазата на моделирање на природната геолошка средина т.е. пред да се започне процедурата на инженерско-геолошко профилирање и моделирање, најпрво потребно е детално дефинирање на истражниот простор од геолошки и инженерско-геолошки аспект. Целиот истражен простор и неговата околина детално се картира. Како резултат на оваа активност се изработува геолошка и инженерско геолошка карта од истражниот простор во размер 1:1000. На изработената мапа се претставени сите литолошки членови кои се определени во истражниот простор, како и сите структурни и тектонски дисконтинуитети (раседи, процепи и процепни зони).

На картата исто така се регистрираат точките од каде се земени примероци за тестирање на физичко – механичките и хемиските карактеристики, како и детална минералогски – петрографска анализа. Во овие испитувања во рамките на овие студии е направен детален катастар на пукнатини. Од друга страна инженерско-геолошките податоци добиени преку претходно наведената методологија обезбедува прецизно определување на RQD параметрите за сите мерни точки, преку што веќе се добива идеја за квалитетот на карпестите маси. За да се започни процесот на моделирањето на истражниот простор потребни се податоци од лабораториските испитувања (претставени во Табела 6.1).

Табела 6.1. Просечни вредности на минералошките композиции, хемиските композиции како и физичко-механичките параметри за секое тестирање посебно

Table 6.1. Average values of the mineralogical composition, chemical composition and physical – mechanical parameters to each test separately

Литологија	Број на проба	Минерална композиција доломит кварц +	Хемиска композиција CaO MgO	Физичко - механички карактеристики					
				Сила на притисок	Волуменска маса	Порозивност		коеф. на дробење	коеф. на абразија
		(%)	(%)	$\sigma_p$ (MPa)	gr/cm <sup>3</sup>	%	gr/cm <sup>3</sup>	%	cm <sup>3</sup> /50cm <sup>2</sup>
Масивни каслцитни мермери	3, 5	98,2 0,65 0,56	55,201 1,40	110	2,69	0,096	2,69	0,22	23,73
Распукани каслцитни мермери	2,4,7,9,	98,43 0,28 0,92	55,06 1,49	103,65	2,65	0,075	2,70	0,21	17,29
Сиви каслцитни мермери	1, 8	98,40 0,68 0,50	55,575 1,23	121,55	2,68	0,03	2,69	0,22	17,29
Циполлино мермер	6	96,80 0,43 1,73 (-к)	54,416 1,65	94,40	2,68	0,11	2,71	0,26	17,30

Освен претставените параметри со цел да се добие попрецизен модел добро е да се имаат во предвид вредностите за кохезијата с како и аголот на внатрешно триење  $\phi$ . Овие два параметри како и модулот на деформација  $D$  се определуваат преку сервисите кои ги нуди софтверскиот пакет Rocscience. Со користење на сите познати податоци карпестите масиви можат да се класифицираат со неколку геотехнички класификации. Во магистерскиот труд во геотехничкиот модел е користен повеќе параметарски класификациски систем. Во функција на моделот се користени следните класификации:

- RMR (Bieniawski)
- ERMR (Jovanovski)
- SMR (Romana)

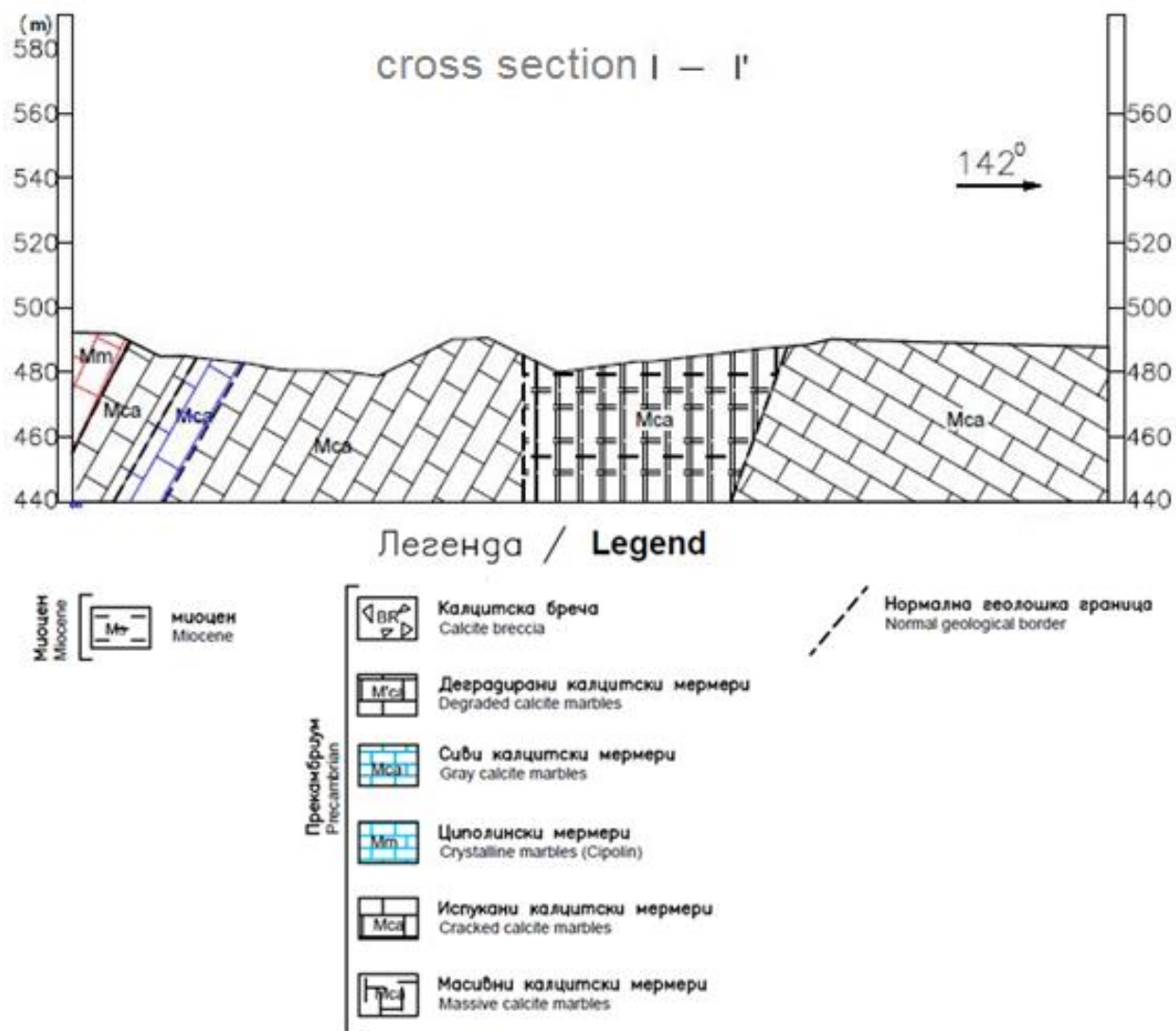
Исто така изработена е класификација на теренот според параметарот: степен на распукување (RQD).

Со комбинирање на податоците од теренските истражувања и добиените податоци од лабораториските испитувања, се изведува геотехничко и инженерско геолошко моделирање на теренот преку користење на методите, инженерско геолошки пресеци (ИГП) и инженерско-геолошки модел (ИГМ).

#### *6.1.1 Инженерско-геолошки пресеци користејќи ја литологијата како параметар*

Карактеристиките на истражниот простор се моделирани според параметарот литологија. Инженерско-геолошкото профилирање на теренот според овој параметар е изведено преку неколку различни пресеци. На пресеците се претставени најбитните литолошки карактеристики на претставените карпести маси.

Во магистерскиот труд е претставена ситуацијата на првата профилна линија која е најрепрезентативна со тоа што ги опфаќа сите литолошки членови кои се застапени во истражниот простор. Инженерско-геолошкиот пресек е претставен на Сликата 12.



Слика 12. Типичен инженерско-геолошки пресек (ИГП) според литологија

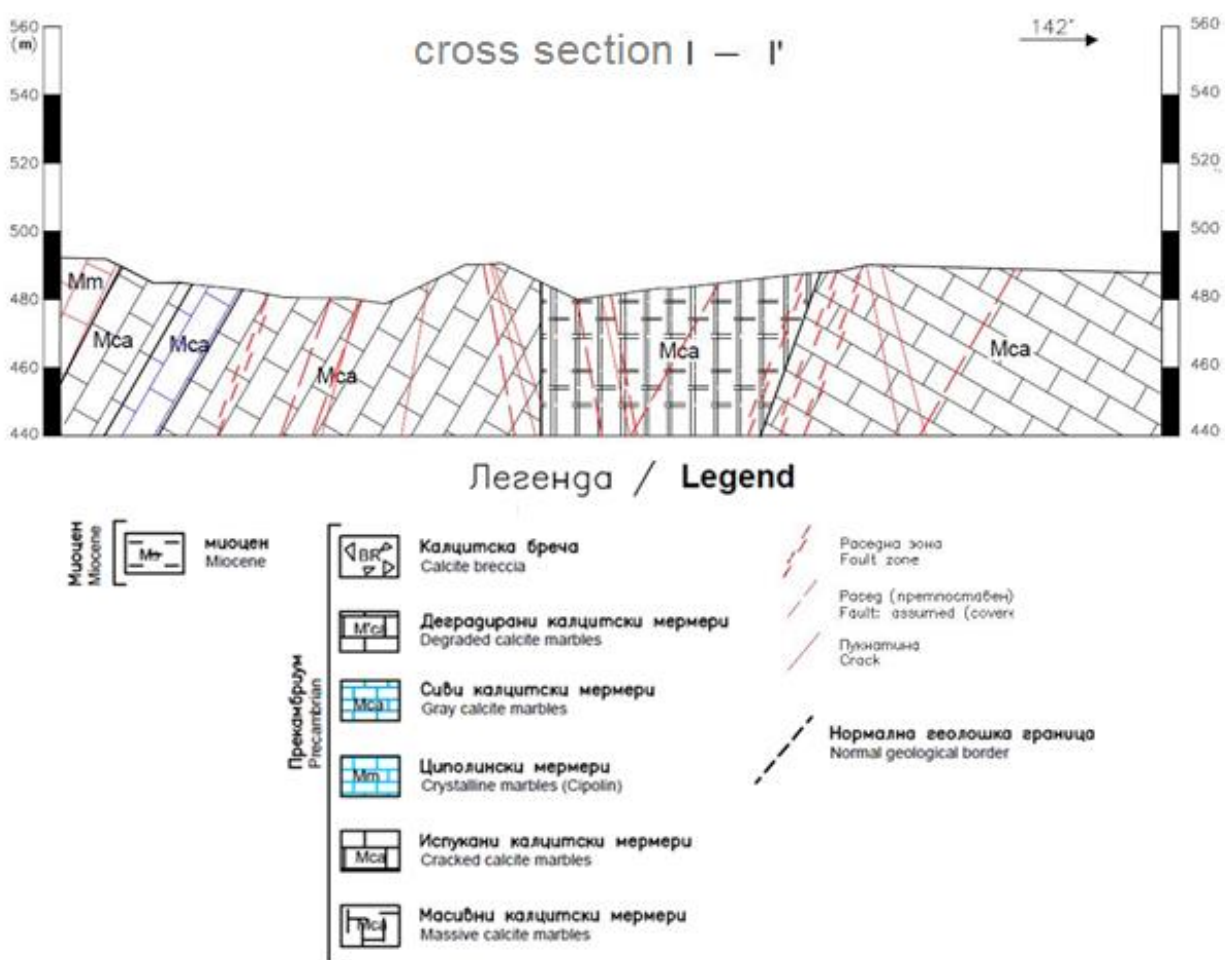
Figure 12. A typical engineering-geological cross section (IGC) by parameter of lithology

#### 6.1.2 Инженерско-геолошки пресек преку параметар на распакување

Инженерско-геолошкиот пресек претставен преку параметарот на распакување е изработен преку внимателна анализа и синтеза на податоците од картирањето изведено на површината на теренот. Според тоа инженерско-геолошкиот пресек ја претставува моменталната состојба на сите поважни тектонски структури кои ја условуваат тектонската структура на целиот истражен простор. Долж инженерско-геолошкиот пресек преку параметар на распакување се



претставени податоците за RQD индикаторот (како што е прикажано на Сликата 13), но истовремено се претставени и најзначајните пукнатини во хомогените зони, кои се одделени во класи според: ориентација, должина, големина на отворот, степенот и видот на материјалот кој ги пополнува итн. На Сликата 13. е претставена актуелната ситуација за профилот 1 (типичен инженерско-геолошки профил преку параметар на распукување) кој е и најрепрезентативен и ги вклучува сите впечатлива фисури, раседи и раседни зони. Како што може да се заклучи од сликата долж истражниот простор е прилично распукан со повеќе фисури. Постојат делови кои се здрави и помалку распаднати, но постојат и делови кои се комплетно распаднати.



Слика 13. Карактеристичен инженерско-геолошки пресек (ИГП) според распуканост како параметар

Figure 13. Characteristic engineering-geological cross section (IGP) by parameter of cracking

### *6.1.3 Инженерско-геолошки пресек изработен според физичко-хемиската декомпозиција*

Врз основа на литологијата, степенот на распуканост како и физичко механичките карактеристики на карпестите маси, истражниот простор е поделен на неколку квази хомогени зони:

- Зона А – циполино мермер ( $RQD \approx 70\%$ ,  $sp = 80 - 90 \text{ Mp}$ ,  $\gamma = 2.65 \text{ gr/cm}^3$ );
- Зона В – распукан калцит мермер и сив калцит мермер ( $RQD = 70-75\%$ ,  $sp = 100 - 115 \text{ Mp}$ ,  $\gamma = 2.65 - 2.68 \text{ gr/cm}^3$ );
- Зона В<sub>1</sub> – Распукан мермер со калцитна зона  $RQD = 65-75\%$ ,  $sp = 100 - 115 \text{ Mp}$  for marbles,  $\gamma = 2.65 - 2.68 \text{ gr/cm}^3$ );
- Зона С – масив на калцит мермер ( $RQD = 85-90\%$ ,  $sp = 110-121 \text{ Mp}$  for marbles,  $\gamma = 2.69 \text{ gr/cm}^3$ );
- Зона D – Раседна зона ( $RQD = 20-25\%$ )

### **6.2 Инженерско геолошки модели (ИГМ)**

Инженерско-геолошките модели претставуваат специфичен приказ на истражниот простор за дефинирање на квази хомогени зони според непходните параметри за проектирање на објектите.

Како што претходно беше наведено овие модели се претставени преку одредени параметри преку кои се продуцираат објектите (некои до повисок, а одредени до понизок степен) и истите претставуваат поедноставена репрезентација на природната средина т.е. карпестиот масив.

Во магистерскиот труд како истражен простор е опфатено лежиштето „Говрлево“, и за истиот простор е изработен инженерско-геолошки модел кој во основа претставува повеќе параметарски приказ на состојбата на карпестиот масив т.е. за секој посебен параметар не се изработени посебни модели, па според тоа генералниот модел ги претставува сите истражни параметри.

Дел од параметрите се претставени графички, како што се параметрите за литологијата и распуканоста, додека одреден дел се прикажани во Табелата 2. што е презентирана под Сликата 14. Табелата е поделена според распоредот на квази хомогените зони кои се одделени во наведениот модел. Во табелата се

класифицирани сите квази хомогени зони според RMR, ERMР и SMR. Во последниот ред од табелата се претставени резултатите од претходно донесените заклучоци заедно со предложен план за начини на ископ.

Генералниот инженерско геолошки модел има за улога јасно да ги презентира важните карактеристики за природната геолошка средина кои се релевантни за специфичен пристап на адресираниот проблем.

Квалитетот на карпестата маса е определена според Bienawiski, за квази хомогените зони одделени во моделот, со RMR граници од 58 – 75 што индицира дека карпестата маса е со солиден квалитет (во мермерниот масив) или поволен (сите преостанати литолошки членови) со исклучок на раседните зони каде што RMR границите се околу 23 (што значи дека се работи слабо врзана карпеста маса).

Како дополнување е дадена класификацијата на теренот како работна средина. Во овај случај вредноста на ERMР границите оди од 60 до 72 што значи дека ископот може да се продолжи во сите делови од просторот преку минирање, повторно со исклучок на раседните зони каде што е отворена можноста за ископување на материјалот.

Стабилноста на теренот, особено на косините, е неопходна за запазување на работната динамика. Поради тоа во претставениот модел е определена стабилноста на косините за сите зони. Според параметарот SMR вредноста варира од 61 до 76 што само по себе кажува дека генерално гледано косините се стабилни, со исклучок во раседните зони каде што има појава на нестабилност.

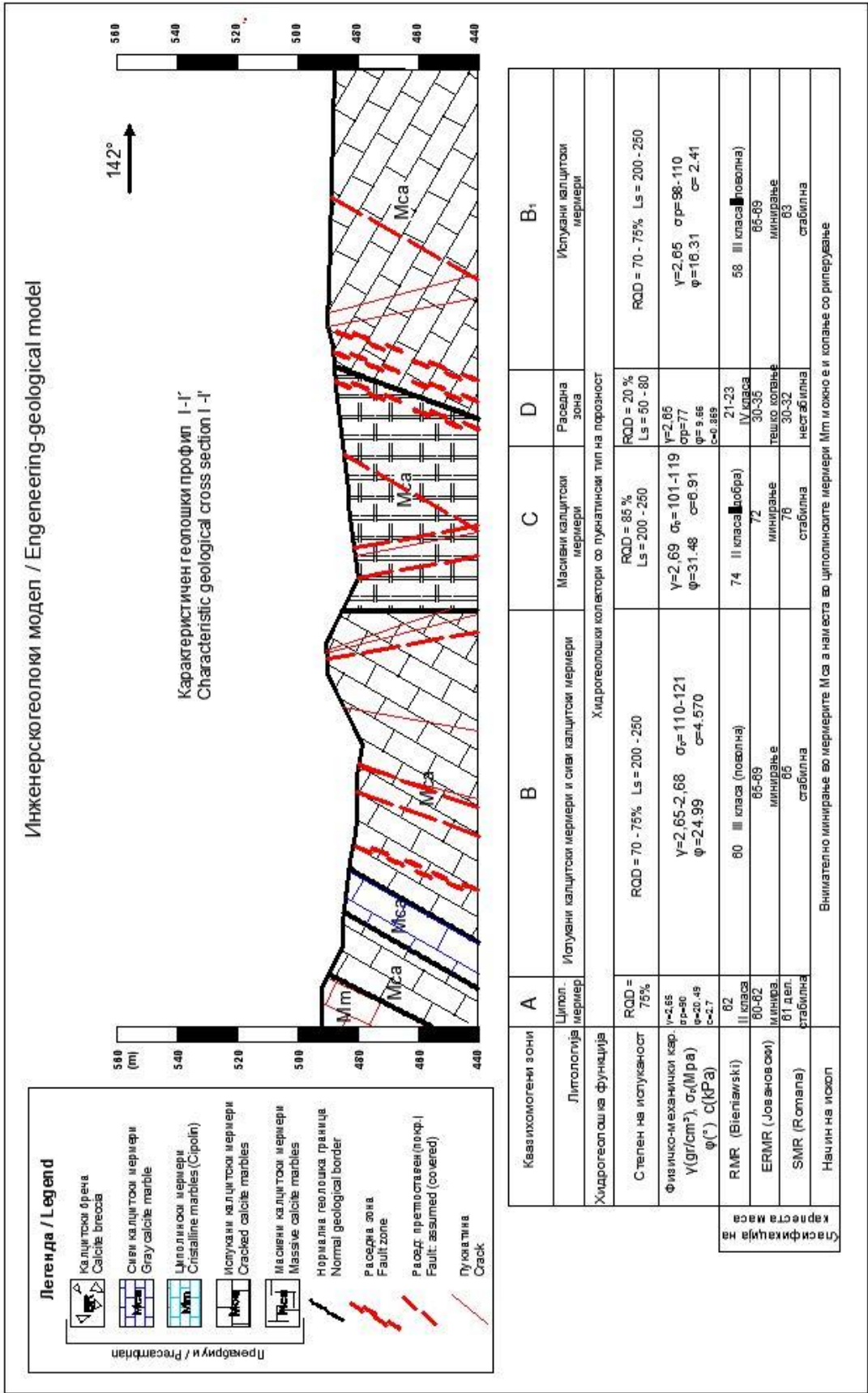
При приготвување на студија за карактеристиките на инфраструктури објекти, неопходно е определувањето на геомеханичките параметри на средината врз која истиот е планиран да се реализира. Овие параметри претставуваат базна основа за секоја натамошна анализа на фундацијата и димензиите на објектот. Од геомеханички аспект постојат неколку методи за категоризација на геолошкиот медиум. За определување на геомеханичките параметри се изведуваат геолошки истражувања, геофизички методи како и лабораториски геомеханички и теренски испитувања.

Процедурата за истражување на просторот започнува со геолошко картирање, при што се изработува детална геолошка мапа определена со сите регистрирани геолошки елементи. Врз основа на деталните геолошки истражувања, како и информациите кои се добиваат од нив се проектираат геофизички испитувања. Преку геофизичките профили се определуваат длабоките дисконтинуитети на испитуваните физички параметри. Со помош на овие профили се геолошкиот комплекс се интерпретира по длабочина. Преку синтеза на повеќе профили се изработуваат 2D и 3D мапи.

Нареден чекор во испитувањата претставува изведување на истражни дупнатини, како и лабораториски и теренски геомеханички испитувања во просторот каде се дефинирани екстремите преку геофизичките истражувања. Преку податоците добиени од истражните дупнатини се изработува ре – интерпретација на геофизичките податоци.

Преку обработената процедура се определува дека реалниот медиум е далеку од хомоген, односно дека истиот е со променливи геомеханички параметри. Реалниот медиум генерализирано може да биде поделен на карпести маси и почви.

Моделот на карпести маси е релативно поедноставен од почвениот модел, каде што значително влијание имаат под површинските води како и други физички феномени кои не се карактеристични за карпестите маси или нивните вредности се занемарливи.



Слика 14. Инженерско геолошки модел за профилната линија I – I'

Figure 14. Engineering geological model for the profile line I – I'

## 7. Корелација помеѓу сеизмичките и геомеханичките параметри на медиумот

Секоја геофизичка метода се базира на регистрирање на определен параметар. На пример гравиметриските методи ја определуваат силата на гравитација или адекватното земјино забрзување, додека пак геомагнетните методи го регистрираат интензитетот на магнетното поле итн.

Сеизмичките методи се базираат на определување на брзината на простирање на лонгитудиналните  $V_p$  и трансверзалните  $V_s$  еластични бранови во истражниот простор. Од инженерски аспект, сеизмичките испитувања се сведуваат на плитка сеизмика која истражува до длабочина не поголема од 100 m.

Постојат два типа на сеизмички методи и тоа метода на рефракција и рефлексија. Недостатоците на рефрактивната метода се јавуваат во случај кога одреден слој има редуцирана брзина на определена длабочина и истата повеќе не може да се користи.

Во средина со определена еластичност т.е. за изотропски хомогени средини зависноста на брзината на простирање на сеизмичките еластични бранови е определена со равенствата:

$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}; \quad V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (7.1)$$

Каде што:

$\lambda, \mu$  – Ламеови коефициенти *Lame coefficients*,

$\rho$  – густина,

$V_p$  – брзина на простирање на лонгитудинален бран,

$V_s$  – брзина на простирање на трансверзален бран.

Брзините  $V_p$  и  $V_s$  можат да бидат претставени преку Јунговиот модул на еластичност  $E$ , модулот на смолкнување  $G$  и поасоновите коефициенти  $\nu$ .

$$V_p = \sqrt{\frac{1}{\rho} \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1+2\nu)}}; \quad V_s = \sqrt{\frac{E}{\rho \cdot 2(1+\nu)}} = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (7.2)$$

Од претходно наведените равенства се определува зависноста на брзините  $V_p$  и  $V_s$  од геомеханичките параметри на геолошките средини.

### 7.1 Зависност на густината од порозноста на карпестите маси

Густината на карпестите маси зависи од ситните делови (зрната), кои ја изградуваат како и од компактноста, со која тие ситни состојки се сврзани во границите на карпестиот агрегат. При таложењето на материјалот во просторот помеѓу деловите од карпестата структура се пополнува со вода. При таложењето на новите седименти оваа вода се истиснува и карпестата структура станува покомпактна, а со тоа и нејзината густина се зголемува. Со зголемувањето на компактноста на средината се намалува и нејзината порозност. Конекцијата помеѓу густината и порозноста може да се претстави со следната релација:

$$\rho_r = \rho_m^{(1-\phi)} + \rho_f \quad (7.3)$$

Каде што:

$\phi$  – Порозност

$\rho_r$  – Густина на карпата во природна состојба со пополнети пори

$\rho_m$  – Густина на матрицата (цврстата карпа)

$\rho_f$  – Густина на материјалот која ја исполнува карпата

Од равенката 7.3 за порозноста се добива дека:

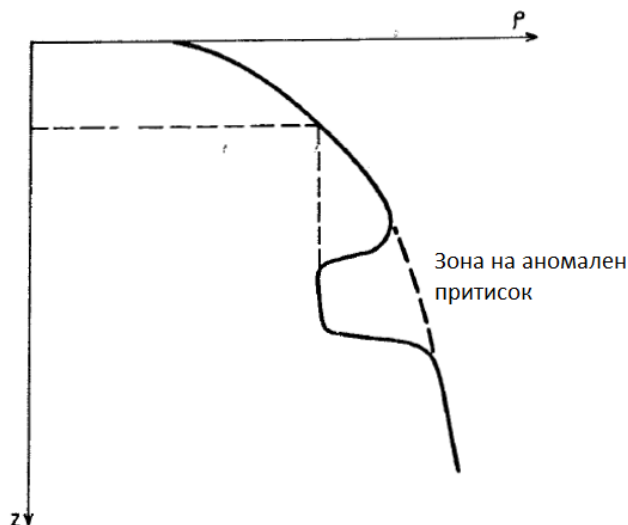
$$\phi = \frac{\rho_m - \rho_r}{\rho_m - \rho_f} \quad (7.4)$$

Ако порите на карпата се исполнети со различни флуиди, на пример, резервоарот на карпата со нафта или гас содржи и вода, тогаш густината може да се претстави со изразот:

$$\rho_r = \rho_m^{(1-\phi)} + \rho_f^\phi + (\rho_w - \rho_f) S_w \phi \quad (7.5)$$

Каде што  $\rho_w$  претставува густината на водата, а  $S_w$  факторот на заситеност на водата (пропорционален на порите кои се наполнети со вода).

При процесот на седиментација е возможно да се создадат услови во кои еден порозен слој се пополнува со некој флуид, а се наоѓа под пермеабилан слој, кој со текот на времето се позиционира подлабоко во басенот. Во таков случај флуидот во порите е под аномално висок притисок, под претпоставка дека странично придвижување на флуидот не е возможно, на пример со некој расед.



Слика 15. Намалување на густината поради аномален висок притисок

Figure 15. Reduction of the density because of the anomalous high pressure

Во вакви услови густината на карпата во слојот кој е под аномален притисок драстично се намалува (Слика 15).

Друга многу битна променлива карактеристика на средините претставува брзината на простирање на еластичните бранови. Брзината на простирање на брановите се определува преку модулите на еластичност на средината и нејзината густина.

$$V_p = \sqrt{\frac{E}{\rho}} * f(v) \quad (7.6)$$

Во однос на брзината важни се три модули на еластичност: Јунгов модул  $E$ , модул на смолкнување  $\mu$ , како и волуменски модул  $K$ . За компресирани бранови важи дека  $E = K + 4\mu/3$ , додека пак за исти бранови кои се простираат низ флуид (не постои смолкнување)  $E = K$ .



Доколку во равенството (7.6) ја вметнеме вредноста за  $E$  за брзината го добиваме следниот израз:

$$V_p = \sqrt{\frac{1}{\rho} \left( K + \frac{4}{3} \mu \right) * f(v)} \quad (7.7)$$

Доколку разгледуваме сува карпеста маса, која се состои од цементно поврзани зрна, брзината на простирање на брановите низ таквата карпа зависи од брзината на простирање на брановите низ зрната и брзната на простирање низ цементната супстанца. Од овие причини кога ја разгледуваме брзината на простирање, неопходно е да се воведе поимот на просечна брзина. За наведениот случај просечната брзина може да се претстави со следниот израз:

$$\frac{1}{V} = \frac{1-\phi}{V_1} + \frac{\phi}{V_2} \quad (7.8)$$

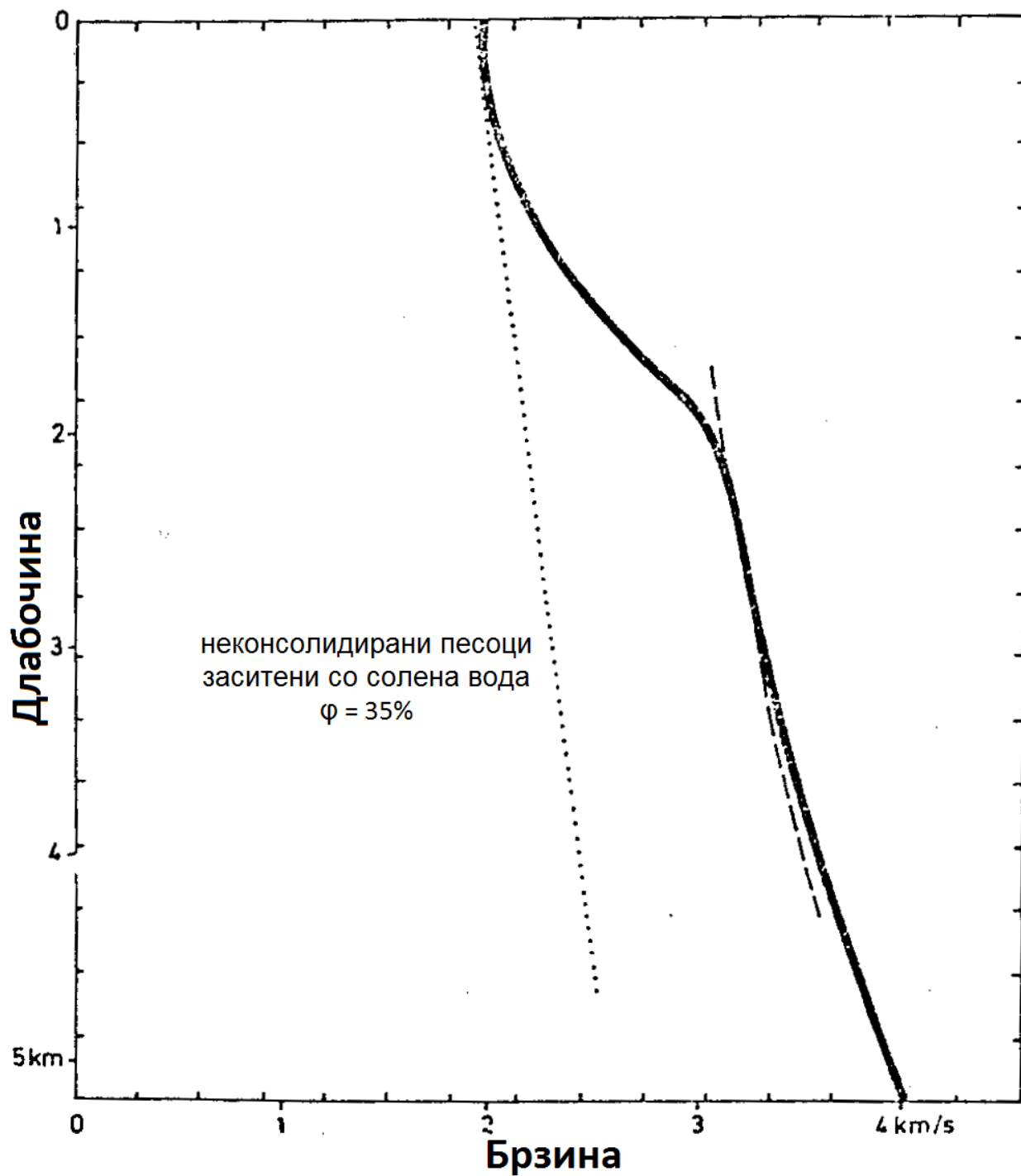
Каде што  $V_1$  и  $V_2$  претставуваат брзините на простирање на брановите низ двете застапени компоненти: матрицата на карпата и цементната маса.

На Сликата 16. е претставена промената на брзината на простирање на брановите зависно од длабочината на продирање. Ако карпата е заситена со вода или гас градиентот на промената на брзината е значително поголем.

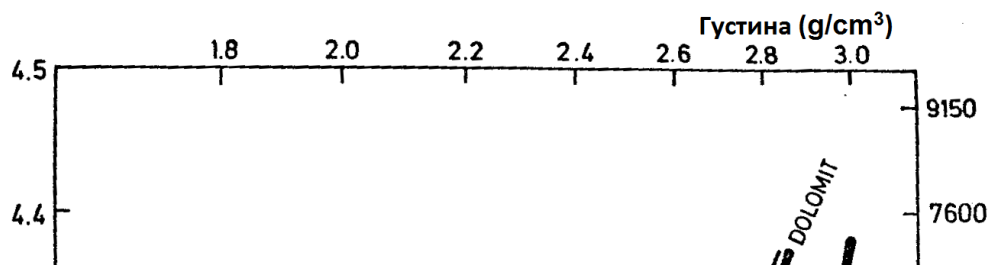
Поради тоа што брзината и густината зависат од порозноста и длабочината возможно е емпириски да се претстави релација која ги поврзува густината и брзината на различни карпести комплекси (Слика 18). За сите карпи со исклучок на анхидридите, ова зависност може да се изрази преку равенката:

$$\rho = 0,31V^{1/4} \quad (7.9)$$

Каде што  $V$  – m/s, а  $\rho$  – g/cm<sup>3</sup>



Слика 19. Промена на брзината во зависност од длабочината (Gardner 1968)  
Figure 19. Change in the propagation velocity with increased depth (Gardner 1968)



Слика 18. Зависност помеѓу брзината и густината за различни карпести компоненти

Figure 18. Dependences between the velocity and density for different rock masses

## **7.2 Геомеханички параметри**

Геомеханичките параметри на хомоген изотропен медиум вообичаено се дефинираат преку Јунговиот еластичен модул  $E$  и поасоновиот коефициент или преку адекватните Ламеови коефициенти  $\lambda$  и  $\mu$ .

Во Табелата 7.1 се претставени релациите помеѓу еластичните параметри. Секој од наведените параметри е претставен преку два соодветни именувани еластични параметри.

Табела 7.1 Зависности помеѓу еластичните параметри

Table 7.1 Dependences between the elastic parameters

	$E$	$\nu$	$k$	$\mu$	$\lambda$
$(E, \nu)$			$\frac{E}{3(1-2\nu)}$	$\frac{E}{2(1+\nu)}$	$\frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}$
$(E, K)$		$\frac{3K-E}{6k}$		$\frac{3kE}{9k-E}$	$\frac{3k(3k-E)}{9k-E}$
$(E, \mu)$		$\frac{E-2\mu}{2\mu}$	$\frac{\mu E}{3(3\mu-E)}$		$\frac{\mu(E-2\mu)}{3\mu-E}$
$(\nu, k)$	$3k(1-2\nu)$			$\frac{3k(1-2\nu)}{2(1+\nu)}$	$\frac{3k\nu}{1+\nu}$
$(\nu, \mu)$	$2\mu(1+\nu)$		$\frac{2\mu(1+\nu)}{3(1-2\nu)}$		$\frac{\mu 2\nu}{1-2\nu}$
$(\nu, \lambda)$	$\frac{\lambda(1+\nu)(1-2\nu)}{\nu}$		$\frac{\lambda(1+\nu)}{3\nu}$	$\frac{\lambda(1-2\nu)}{2\nu}$	
$(k, \mu)$	$\frac{9k\nu}{3k+\nu}$	$\frac{3k-2\nu}{2(3k+\mu)}$			$K - 2\mu/3$
$(k, \lambda)$	$\frac{9k(k-\lambda)}{3k-\lambda}$	$\frac{\lambda}{3k-\lambda}$		$3/2 (k - \lambda)$	
$(\mu, \lambda)$	$\frac{\mu(3\lambda+2\mu)}{\lambda+\mu}$	$\frac{\lambda}{2(\lambda+\mu)}$	$\lambda + (2/3\mu)$		

Битно е да се напомени дека  $\mu$  е волуменски модул:

$$\mu = G = \frac{E}{2(1+\mu)} \quad (7.10)$$

Во реални услови карпестите маси се многу поблиску до моделот на хомоген изотропен еластичен медиум за разлика од почвите кои на релативно мали потреси се деформабилни и надвор од зоната на еластичност.

Почвите во однос на карпестите маси се однесуваат како пластични средини или лесно деформабилни. Од тој аспект од големо значење е определување на врската помеѓу нормална сила на напрегање и граничен отпор на деформирање. Генерално гледано зависноста помеѓу нормалната сила на напрегање  $\sigma$  на било кој сегмент на почвената маса и кореспондирачкиот отпор на деформирање на единица површина се определува преку равенството:

$$s = c + \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (7.11)$$

Каде што:

$s$  – Сила на деформирање,

$c$  – Кохезија на почвата,

$\sigma$  – Сила на напрегање,

$\varphi$  – Агол на внатрешно триење.

Кохезијата  $c$  е еднаква на отпорот на деформирање за единица површина доколку силата на напрегање  $\sigma = 0$ .

За растресити почви кохезијата  $c = 0$  и наведената равенка ја добива следната форма:

$$s = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (7.12)$$

Од горе наведеното јасно се определува дека отпор на деформирање на почвата директно зависи од тангенцијалната сила на напрегање на медиумот. Кога истата ја надмине критичната вредност доаѓа до деформирање на почвата.

### **7.3 Релација помеѓу сеизмичките брзини и геомеханичките параметри**

Магистерскиот труд не се базира на определување на стриктна поврзаност помеѓу брзините на простирање на еластичните бранови  $V_p$  и  $V_s$  со геомеханичките параметри на истражниот простор. Гледано од физички аспект простирањето на еластичните бранови се определува во средина со одредени еластични карактеристики, односно медиумот се карактеризира како пластична средина т.е. како зона на пластичност. Теоретските разлики помеѓу еластичните и пластичните

[illegible]

Табела 7.3 Агол на внатрешно триење  $\phi$  за некохерентни почви (според Hough, Lambeј и Whitman)

Table 7.3 Angle of internal friction  $\phi$  for incoherent soils (according to Hough, Lambeј and Whitman)

Опис	Вредност за $\phi$ (о)		
	Лабави	Средни	Густи
Не – пластична прашина	26-30	28-32	30-34
Подеднакво мал и среден песок	26-30	30-34	32-36
Добар песок агрегат	30-40	34-40	38-46
Песок и чакал	32-36	36-42	40-48
Доколку зрната се добро заоблени композицијата содржи значителна количина на мика или шкрилци, се користи ниската гранична вредност, додека пак за цврсти и аглести зрна се користи горната гранична вредност.			

Табела 7.4 Коефициент на емпириски критериум за оштетување (според Hoek и Brown, 1980)

Table 7.4 coefficient of empirical criteria for rock damage (according to Hoek and Brown, 1980)

Монолит Без Пукнатини Q=500 RMR=100	Најдобар квалитет непромене та пукнатини Q=100 RMR=85	Многу добар квалитет со пукнатини на 1 - 3 [m] Q=10 RMR=65	Добар квалитет пукнатини на 0.5 - 1 [m] Q=1.0 RMR=44	Лош квалитет пукнатини на секои 30 - 50 [cm] Q=0.1 RMR=23	Многу лош квалитет пукнатини на 1 - 5 [cm] Q=0.01 RMR=3
s =1	s =0.01	s =0.004	s =0.0001	s =0.00001	s =0
Карбонатни карпи: доломит, варовник, мермер					
m=7	m=3.5	m=0.7	m=0.14	m=0.04	m=0.007
Глина, глинести шкрилци, песочник					
m=10	m=5	m=1	m=0.2	m=0.05	m=0.01
Песокливи карпи со цврсти кристали: песочник, кварцит					
m=15	m=7.5	m=1.5	m=0.3	m=0.08	m=0.015
Огнени ситно-грануларни карпи: андезит, дијабаз					
m=17	m=8.5	m=1.7	m=0.34	m=0.09	m=0.017
Огнени крупно – гранулирани карпи: гнајс, гранит, габро					
m=25	m=12.5	m=2.5	m=0.5	m=0.13	m=0.025

Од вредностите претставени во таблите може да се забележи дека брзината на простирање на сеизмичките бранови е во корелација со геомеханичките параметри. Според добиените податоци може да се заклучи дека високите брзини на простирање во принцип значат дека материјалот има голема компакност и кохезија, додека помалите брзини на простирање индицираат раздробени зони или почви со помала кохезија.

## Заклучок

Обработените геолошки модели претставуваат повеќе параметарски приказ на состојбата на карпестиот масив. Овие модели оперираат на определени



параметри кои се неопходни за продуцирање на објектите и истите претставуваат поедноставена репрезентација на природната средина т.е. карпестиот масив.

Моделите нудат можност за брзо и релативно прецизно претставување на состојбата на карпестиот масив. Од моделот директно можеме да ги регистрираме квази хомогените зони, од каков материјал се изградени, кои се физичките и механичките карактеристики, како и колкав е степенот на распуканост заедно со квалитативните индикатори за секоја зона.

Од претставените модели јасно се гледа кои делови од масивот со каква функција можат да бидат искористени. Деградираните и распаднати делови на масивот каде што вредноста на параметарот RMR е под 60 единици, може да бидат користени само како технички камен, додека по компактните конфигурации со поголеми вредности за RMR (преку 75 единици), се земаат како возможни за експлоатација на архитектонски градежен камен.

Апликацијата на геофизичките методи, конкретни сеизмичките има незаменлива улоги при дефинирањето на геомеханичките параметри на средините. Најдобри резултати се добиваат доколку геофизичките методи се комбинираат со истражни дупнатини како и лабораториски испитувања од картираниот материјал или во случај кога геофизичките методи се користат прелиминарно за дефинирање на локациите на истражните дупнатини.

Врз основа на обработените лабораториски испитувања е изработена интерпретација на геофизичкиот истражен модел. Прикажаните зависности помеѓу брзините на простирање  $V_p$  и  $V_s$  како и геомеханичките параметри јасно ја индицираат можноста истите да се користат при определување на геомеханичките параметри на истражниот простор.

## **Користена литература (References)**

1. Bienawski Z.T.: Geomechanics classification of rock masses and it's application in tunneling, Proceedings of 3 – rd International Conference in Rock Mechanics,

Denver 1974.

2. Beyer F., Rolofs F.: Size distributions of Rock Blocs from measurement of Rock faces, Rock mechanics, Vol. 14, No.2, 198.
3. Боев Б., Стојанов Р., (1994): Петрографија. Унвиерзитет „Св. Кирил и Методиј“ – Скопје, Рударско- геолошки факултет – Штип.
4. Блажев К. Арсовски М. (2001): Општа геологија - Штип
5. Делипетров Т. (1996): Геофизички истражувања – гравиметриски и геомагнетни методи – Штип
6. Делипетров Т., (2003): Основи на геофизика, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ Скопје, Рударско-геолошки факултет – Штип.
7. Делипетров Т. (1991): Врската помеѓу коровите и поткоровите структури на територијата на Македонија и сеизмичноста докторска дисертација, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ – Скопје
8. Димов Ѓ., (2014) Методологија на истражување и дефинирање на инженерско-геолошките карактеристики на наоѓалиштата на архитектонско – градежен камен во Р. Македонија доктроска дисертација. Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип, Факултет за природни и технички науки – Штип.
9. Dragašević T.(1983) - Seizmička istraživanja, Geofizički institut, Beograd 1983
- 10.Думурџанов Н., Петров Г., (2002) Геолошко картирање , Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ – Скопје, Рударско-геолошки факултет – Штип.
- 11.Hoek E., Marinos, P. Benissi, M., (1998): Applicability of the geological strength index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses. The case of Athens Schist Formation. Bull Eng Geol Environ (1998) 57, pp 151 – 160.
- 12.Илијовски З., Јовановски М., Велевси А., (2004): Методоогија на инженерско – геолошко моделирање на преградното место за брана „Св. Петка“. Прв национален конгрес на брани, Охрид.
- 13.J.J.Jakosky (1960) Geofizička Istraživanja
- 14.Јовановски М., (2001): Инженерска геологија, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ – Скопје, Градежен факултет – Скопје.
- 15.Јовановски М., : Прилог кон методологија на истражување на карпестите маси како работна средина, доктроска дисертација, Универзитет „Св. Кирил

и Методиј“ – Скопје, Градежен факултет – Скопје.

16. Kujundzic B. (1973): Sadržina I metodika izrade inženerskogeoloških preseka, modela I geotehničkih modela, Saopštenja IX Kongresa Jugoslovenskog komiteta za visoke brane, Zlatibor, 1973.
17. Kujundzic B. (1977): Osnove mehanike stena, Gradjevinski calendar, SIT, Beograd, 1977
18. Маневски В. (2013): Геоелектрични методи на наоѓалишта на јаглен – Магистерска теза, Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип.
19. Основна геолошка карта 1 : 100 000 Скопје (1984) – Толкувач на листот К 34 – 79
20. Панов З. (2011): Механика на карпи - Штип
21. Stefanović D. (1978): Geomagnetne metode istrazivanja – Beograd
22. Šandor Slimak (1996) Inženjerska geofizika